



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UniCEUB
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

JEAN MATHEUS DE CARVALHO CAMARGOS

MEDIDOR PARA TANQUES OU RESERVATÓRIOS VIA PRESSÃO

Orientador:

Prof. MSc. Thiago de Miranda Leão Toribio

Brasília - DF, Dezembro de 2010

JEAN MATHEUS DE CARVALHO CAMARGOS

MEDIDOR PARA TANQUES OU RESERVATÓRIOS VIA PRESSÃO

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção do Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação.

Prof. Orientador: Thiago de Miranda Leão Toribio

Brasília - DF, Dezembro de 2010

JEAN MATHEUS DE CARVALHO CAMARGOS

MEDIDOR PARA TANQUES OU RESERVATÓRIOS VIA PRESSÃO

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção do Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação.

Prof. Orientador: Thiago de Miranda Leão Toribio

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação, e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS.

Prof. Abiezer Amarilia Fernandez
Coordenador do Curso de Engenharia de Computação

Banca Examinadora:

Prof. Thiago de Miranda Leão Toribio, Doutor em Física Teórica.
Orientador

Prof. Flávio Antônio Klein, Mestre em Estatística e Métodos Quantitativos.
Instituição UniCEUB

Prof. João Marcos Souza Costa, Especialista em Matemática.
Instituição UniCEUB

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais pela oportunidade, pela paciência, pelo apoio, pela ajuda, e principalmente pela confiança depositada em mim ao longo desses anos de estudo. Agradeço aos meus irmãos pelo grande amadurecimento que me proporcionam a cada dia e também pela ajuda no desenvolvimento desse trabalho. Do mesmo modo, agradeço ao corpo docente do Curso de Engenharia da Computação do UniCEUB, em especial ao meu orientador Prof. Thiago de Miranda Leão Toribio, por todo o conhecimento e experiência passados a mim nesses cinco anos de curso.

Não esquecendo dos amigos, agradeço a todos pelas sugestões, ajudas, opiniões e por todas as dicas dadas ao longo do desenvolvimento do trabalho. Agradeço ao Alcides, ao Gabriel, ao Gustavo e ao Rafael pela grande ajuda proporcionada. Agradeço também ao Alessandro, à Arisla, à Bárbara, ao Guilherme, ao Lucas, ao Marcos, ao Filipe, ao Thiago, e a todos os outros que de alguma maneira me ajudaram no desenvolvimento desse trabalho. Agradeço também ao monitor José Carlos pela paciência demonstrada ao longo de tanto tempo. Agradeço também ao anônimo de Belo Horizonte que passou mais de 6 horas ajudando um desconhecido pela internet. Enfim, agradeço a todos que diretamente ou indiretamente me ajudaram em algum momento ao longo de tanto tempo de curso.

RESUMO

Esse projeto propõe a criação de um novo método para medição de nível, focando principalmente o ambiente industrial. O método proposto é capaz de medir via pressão qual a quantidade de água contida no interior de um tanque ou de um reservatório qualquer. Para isso, um protótipo foi construído com o objetivo de simular um tanque ou um recipiente. Esse tanque, que tem 25cm de largura, 25cm de comprimento e 35cm de altura, está ligado a alguns componentes que fazem a leitura e mostram o volume de água contida em seu interior. Um compressor de ar, um sensor de pressão (MPX4250AP), um microcontrolador (PIC16F876A) e um display de LCD são os principais componentes desse protótipo. O compressor de ar é utilizado para pressurizar o recipiente. O sensor de pressão é utilizado para capturar a pressão contida no interior do mesmo e transformar em um dado que possa ser lido pelo microcontrolador. O microcontrolador recebe os dados e faz os cálculos. Por fim, o resultado é apresentado no display de LCD.

Palavras Chave: medição de nível, pressão absoluta, sensor de pressão, PIC16F876A.

ABSTRACT

This project proposes the creation of a new method for level measuring, focusing primarily on the industrial environment. The proposed method is capable of measuring by pressure which amount of water is inside a tank or any container. For it, a prototype was built to simulate a tank or a container. This tank, that is 25cm width, 25cm length and 35cm height, is connected to some components that make some reads and show the amount of water contained inside the tank. An air compressor, a pressure sensor (MPX4250AP), a microcontroller (PIC16F876A) and an LCD display are the main components of this prototype. The air compressor is used to pressurize the container. The pressure sensor is used to capture the pressure contained inside the tank and turn it into a data that can be read by the microcontroller. The microcontroller receives the data and makes some calculations. Finally, the result is displayed on the LCD display.

Keywords: level measurement, absolute pressure, pressure sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Visor de nível de simples indicação.....	23
Figura 2.2 – Visor de nível de uso externo com escala graduada e registro para paradas de manutenção ou troca.....	24
Figura 2.3 – Medição de nível contínuo com flutuador de bola e indicador no contrapeso...	24
Figura 2.4 – Medição de nível contínuo com flutuador de bola e contrapeso.....	25
Figura 2.5 – Reservatório com par de eletrodos.....	25
Figura 2.6 – Detalhe do sensor pneumático.....	26
Figura 2.7 – Controle de nível simples com detalhe do tubo de imersão e sensor quando ativado pelo nível máximo do fluido.....	27
Figura 2.8 – Capacitor cilíndrico.....	28
Figura 2.9 – Sonda capacitiva cilíndrica (esquemático).....	28
Figura 2.10 – Sonda capacitiva cilíndrica (esquemático).....	29
Figura 2.11 – Medição de pressão hidrostática – O instrumento é uma célula d/p CELL.....	30
Figura 2.12 – Caixa de diafragma fechada.....	31
Figura 2.13 – Caixa de diafragma aberta.....	31
Figura 2.14 – Medida de móvel com manômetro em U.....	32
Figura 2.15 – Medição de nível por borbulhamento.....	33
Figura 2.16 – Medição de pressão diferencial por borbulhamento.....	33
Figura 2.17 – Reservatórios equipados com controlador de nível por radiação.....	34
Figura 2.18 – Medição de nível com ultra-som.....	35
Figura 2.19 – Medição de nível com microondas.....	36
Figura 2.20 – Medição de nível por vibração (o sensor é montado dentro do tubo).....	37
Figura 2.21 – Medição de nível por pesagem.....	37
Figura 3.1 – Barômetro de mercúrio.....	40
Figura 3.2 – Diagrama comparativo das Pressões.....	42
Figura 3.3 – A pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional ao número de moles.....	43
Figura 3.4 – A pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta.....	44

Figura 3.5 – A temperatura constante, o volume de uma amostra de gás é inversamente proporcional à pressão.....	44
Figura 4.1 – Compressor JetMIL-i.....	47
Figura 4.2 – Sensor MPX4250AP.	49
Figura 4.3 – Diagrama de Blocos do MPX4250AP.....	49
Figura 4.4 – Gráfico de tensão de Saída (Volts) VS Pressão (kPa).....	49
Figura 4.5 – Diagrama interno do PIC16F876A.....	52
Figura 4.6 – Pinagem do PIC16F876A.....	53
Figura 4.7 – Kit de Desenvolvimento utilizado no trabalho.....	54
Figura 4.8 – Kit de Desenvolvimento utilizado no trabalho.....	55
Figura 4.9 – Display LCD 16x2.....	56
Figura 4.10 – Ligação do Display LCD.....	56
Figura 4.11 – Tela principal do PIC C Compiler.....	59
Figura 4.12 – Tela do Proteus.....	60
Figura 5.1 – Etapas do Projeto.....	61
Figura 5.2 – Componentes do Projeto.....	62
Figura 5.3 – Passo número 1. Colocação de água no recipiente.....	64
Figura 5.4 – Passo número 2. O recipiente é vedado.....	64
Figura 5.5 – Passo número 3. Tempo definido em 7 segundos.....	65
Figura 5.6 – Passo número 3. Pressurizando o recipiente.....	65
Figura 5.7 – Passo número 4. Medições sendo feitas.....	66
Figura 5.8 – Passo número 5. O resultado é apresentado na tela.....	66
Figura 5.9 – Passo número 7. Torneira para saída de água.....	67
Figura 5.9 – Passo número 7. Torneira para saída de água.....	67
Figura 5.10 – Fluxograma do projeto.....	68
Figura 6.1 – Gráfico de Tensão média x Volume.....	73
Figura 6.2 – Gráfico da Maior Tensão x Volume.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados técnicos do compressor de ar.....	46
Tabela 2 – Características Operacionais do MPX4250AP sendo $V_S = 5.1$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro com os valores de tensão correspondente a cada volume.....69

Quadro 2 – Quadro com os valores de maior tensão capturados correspondente a cada volume.....74

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO.....	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE QUADROS.....	IX
SUMÁRIO.....	X
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	13
1.1 – Apresentação do Problema	13
1.2 – Objetivos do Trabalho	14
1.2.1 – Objetivo geral	14
1.2.2 – Objetivos específicos.....	14
1.3 - Motivação	15
1.4 – Escopo do Trabalho	16
1.5 – Resultados Esperados	17
1.6 – Estrutura do Trabalho	18
CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
2.1 - Introdução.....	19
2.1.1 - Estado do produto a ser vendido	19
2.1.2 - Unidade como Resultado	20
2.1.3 - Exigência da precisão.....	20
2.1.4 - Recipientes utilizados e dificuldades enfrentadas	21
2.2 - Mercado	21
2.3 - Soluções Existentes	22
2.4 - Medida Direta.....	23
2.4.1 - Medição por Visores de Nível	23
2.4.2 - Medição por Bóias	24
2.4.3 - Medição por Contatos de Eletrodos	25
2.4.4 - Medição por Sensor de Contato	26
2.5 - Medida Indireta	27
2.5.1 - Medição por Capacitância.....	27
2.5.2 - Medição por Empuxo	29
2.5.3 - Medição por Pressão Hidrostática	30
2.5.3.1 - Medição por Célula d/p Cell.....	30
2.5.3.2 - Medição por Caixa de Diafragma	31
2.5.3.3 - Medição por Tubo em U	32
2.5.3.4 - Medição por Borbulhamento	32
2.5.4 - Medição por Radiação	34
2.5.5 - Medição por Ultra-som	35
2.5.6 - Medição por Microondas	35
2.5.7 - Medição por Vibração.....	36
2.5.8 - Medição por Pesagem	37
2.6 - Conclusão	38

CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO E BASE METADOLÓGICA.....	39
3.1 - Princípios de Química	39
3.2 - Pressão	39
3.5.1 - Pressão Atmosférica.....	41
3.5.2 - Pressão Relativa	41
3.5.3 - Pressão Absoluta	41
3.5.5 - Pressão Diferencial	42
3.6 - A Lei dos Gases Ideais	42
3.7 - Gases Reais.....	45
CAPÍTULO 4 - REFERENCIAL TECNOLÓGICO.....	46
4.1 - Introdução.....	46
4.2 - Compressor de Ar.....	46
4.3 - Sensor	47
4.3.1 - Sensor de Pressão.....	47
4.4 - Microcontrolador.....	50
4.4.1 - PIC.....	51
4.4.2 - Estruturação Interna	52
4.4.3 - Pinagem.....	53
4.5 - Kit de Desenvolvimento	54
4.5.1 - Características	55
4.6 - Visor LCD	56
4.6.1 - Pinagem de Ligação do LCD	56
4.7 - Software.....	57
4.7.1 - Programação.....	57
4.7.2 - Linguagem C	58
4.7.3 - PIC C Compiler.....	59
4.7.4 - Proteus.....	60
CAPÍTULO 5 - MODELO PROPOSTO	61
5.1 - Desenvolvimento do Projeto	61
5.2 - Estrutura Geral do Projeto.....	61
5.3 - Princípio de Funcionamento do Projeto	62
5.4 - Etapas para o Funcionamento do Projeto.....	63
5.5 – Descrição da Implementação	68
CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	69
6.1 - Apresentação da Área de Aplicação do Modelo	69
6.2 - Calibração do Modelo	69
6.3 - Resultados da Aplicação do Modelo	73
6.5 - Avaliação Global do Modelo	76
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO	77
7.1 - Conclusões.....	77
7.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
APÊNDICE A - CÓDIGO EM C DO PROGRAMA PRINCIPAL	82
APÊNDICE B - CÓDIGO EM C DA BIBLIOTECA LCD.....	84

ANEXOS A - Datasheet do MPX4250AP.....	89
ANEXOS B - Datasheet do PIC16F876A.....	89
ANEXOS C – Manual do Motocompressor JETMIL-i	89
ANEXOS D - Manual do ACEPIC 18_28.....	89

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O instrumento de medição foi uma das primeiras ferramentas inventadas pelo homem. Civilizações antigas já necessitavam de instrumentos que os proporcionassem medições mais corretas, para que atividades corriqueiras pudessem ser exercidas com maior eficácia, ou até mesmo para ganhar tempo. Atividades como a construção civil, moldagem de roupas, ou até mesmo a troca de alimentos passaram a exigir um método mais apurado de medição. (MEASUREMENT, 2010)

Com o passar do tempo, as necessidades humanas foram aumentando, as atividades foram se desenvolvendo, novos ramos de atividade foram surgindo, a indústria passou a existir e, nos dias de hoje, é imprescindível que a medição aplicada em qualquer ramo de atividade seja o mais exato possível.

O “medidor”, que de acordo com o dicionário da língua portuguesa, (FERREIRA, 1989), denota o aparelho ou instrumento que serve para fazer medidas ou análises, passou a ganhar bastante atenção no ambiente industrial, principalmente em função das exigências das diversas aplicações industriais, onde medidas apuradas se fazem necessárias.

Entretanto, apesar das inúmeras variáveis de controle existentes nos processos industriais, e dos inúmeros tipos de medidores disponíveis no mercado, não é escopo deste trabalho abordar todos eles ou mesmo parte deles, mas sim, apenas um tipo de medidor, que é o medidor de nível.

1.1 – Apresentação do Problema

No ambiente industrial, a medição do nível contido em tanques ou reservatórios é importante não somente para o operação do próprio processo industrial, mas também para fins de cálculo de custo e de inventário.

Uma grande indústria faz uso de diversos materiais em diversas etapas da fabricação de seu produto. Muitos desses materiais encontram-se no estado líquido, e precisam estar

armazenados em tanques ou reservatórios para que possam ser utilizados adequadamente. Nesse âmbito, não somente a água é utilizada, mas também perigosos produtos químicos são estocados e precisam ter seu controle o mais preciso possível.

Há também a necessidade do controle de custo e de inventário. Toda indústria que se preze precisa fazer o levantamento e ter o total controle sobre seus produtos estocados, para que consiga trabalhar com todo seu potencial, sem que imprevistos como a falta de uma matéria prima vire um motivo para a paralisação da produção, resultando em prejuízo.

Os sistemas de medição para tanques ou reservatórios variam em complexidade desde simples réguas, controles visuais e bóias até indicações remotas, por registros e por meios de instrumentos automatizados.

Sendo assim, esse projeto visa a criação de um método capaz de medir via pressão qual a quantidade de água contida no interior de um tanque ou um reservatório.

1.2 – Objetivos do Trabalho

1.2.1 – Objetivo geral

No mercado industrial, a escolha da tecnologia a ser empregada na medição de nível varia e deve ser definida começando pela exigência metrológica da medição do processo até chegar ao custo envolvido na aplicação de tal tecnologia. Sendo assim, é objetivo desse trabalho desenvolver um método de medição de nível alternativo para o mercado, mas que seja eficaz para aplicação.

1.2.2 – Objetivos específicos

O objetivo específico deste projeto é desenvolver um método que consiga apurar via pressão quanto de água há dentro de um tanque ou um reservatório. Para alcançar tal objetivo, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Criar um método que por meio da medição da pressão absoluta, consiga saber quanto de água ainda resta dentro de um recipiente.
- Traduzir os dados e informar ao usuário, de forma simples, quanto de água resta dentro do recipiente.
- Desenvolver um protótipo, o qual é utilizado para testes e obtenção de resultados que provem que o método desenvolvido de fato funciona.
- Desenvolver o controle (parte física e lógica). A parte física seria composta por um Micro-controlador PIC16F876A, um sensor de pressão MPX4250AP , um display de LCD e um compressor de ar. A parte lógica é feita utilizando a linguagem de programação C.
- Desenvolver um método que seja viável para implementação.

1.3 - Motivação

Apesar do foco do trabalho ser um medidor para tanques ou reservatórios principalmente com o desígnio de atuar em um ambiente industrial, a ideia inicial surgiu de outra forma, mas que por motivos técnicos não pode ser desenvolvida.

A ideia surgiu como uma possível solução para um problema comum e que afeta muitas pessoas diariamente, principalmente aquelas que são proprietárias de automóveis. Quando se fala de carros, é de conhecimento de todos que o sistema que mostra a quantidade de combustível do carro nem sempre marca com precisão qual é realmente a quantidade de combustível que há dentro do tanque. Isso se deve a forma como é realizada essa medição, feita por meio de bóias.

Mesmo nos carros mais atuais, o sistema com bóias ainda é utilizado. O sistema consiste basicamente em uma bóia que está localizada no tanque do carro, que ligada a alguns dispositivos externos, consegue movimentar e precisar qual a quantidade de combustível dentro do tanque, mas muitas vezes de forma imprecisa.

Esse trabalho nasceu com a premissa de criar um método capaz de medir via pressão qual a quantidade de combustível contida no interior de um tanque de combustível. Entretanto, questões técnicas como a existência do suspiro nos tanques de combustível e o

vapor de combustível criado pelo movimento do tanque, impossibilitavam o desenvolvimento do trabalho. Optou-se, então, em criar um método que possa atuar em um tanque ou reservatório qualquer. Mesmo assim, espera-se que o trabalho possa abrir portas ou despertar ideias, ou mesmo que o trabalho possa posteriormente passar por algumas adaptações e melhoras, resultando em um possível método que poderia ser usado em automóveis, em substituição do atual método que faz uso de bóias.

1.4 – Escopo do Trabalho

O trabalho tem o foco no desenvolvimento de um método de medição de nível, diferente dos demais medidores de nível existentes no mercado, onde se utiliza a pressão absoluta como forma de descobrir e mostrar ao usuário quanto de líquido resta dentro de um recipiente.

O projeto consiste no desenvolvimento de um sistema, onde o mesmo tem o objetivo de aferir, fazer os cálculos e apresentar para o usuário quanto de água há dentro de um tanque ou recipiente. Para obter o resultado esperado, algumas etapas devem ser cumpridas. De forma simples, eis como o trabalho é apresentado:

- É utilizado um recipiente sólido e com medidas conhecidas.
- Coloca-se uma medida conhecida de água dentro do recipiente por uma abertura superior.
- Depois de vedar completamente o recipiente, liga-se o compressor de ar que está conectado ao recipiente por um tempo preestabelecido. O objetivo é pressurizar o recipiente.
- Depois de estar com o recipiente pressurizado, aguarda-se um momento para que o sensor de pressão que está acoplado ao recipiente, apure a pressão diferencial contida no interior do recipiente.
- O sensor de pressão, a saber, MPX4250AP, está conectado a um microcontrolador, que interpreta o resultado e por meio de alguns cálculos informa ao usuário, por meio

de uma tela LCD, quanto de água tem dentro do recipiente. É interessante verificar se o resultado obtido é o esperado.

- Tendo o resultado em mãos, despressuriza-se o recipiente, muda-se a quantidade de água contida no interior do mesmo e repete-se os passos anteriores, confrontando o resultado com o esperado e verificando a confiabilidade do método.

É importante estar ciente que o projeto a ser apresentado não faz toda a gerência automática dos passos supracitados. A implementação automática de todos os passos relacionados acarretaria em um sistema muito complexo, o que não é objetivo central do projeto final. Sendo assim, é importante informar que alguns passos são feitos de forma manual, mas são levados em consideração para efeito de verificação de resultado. São eles:

- A colocação de água dentro do recipiente é feito de forma manual, tão qual a retirada do mesmo.
- A pressurização do recipiente também é feita de forma manual, tomando todos os cuidado necessários.
- A despressurização também é feita de forma manual.

1.5 – Resultados Esperados

Como dito anteriormente, este trabalho tem como objetivo desenvolver um método de medição de nível diferente dos demais métodos de medição de nível existentes no mercado, onde o mesmo utiliza a pressão absoluta interna do recipiente como forma de descobrir e mostrar ao usuário quanto de líquido resta dentro do recipiente.

Como resultado, espera-se que os resultados obtidos mostrem que o método pode ser desenvolvido e utilizado em indústrias ou seguimentos similares.

1.6 – Estrutura do Trabalho

Esse trabalho está estruturado em sete capítulos. O primeiro capítulo é a introdução da monografia. Nesse capítulo há uma pequena explanação sobre o ambiente em que o projeto se enquadra. Os objetivos também são definidos no primeiro capítulo. Já no segundo capítulo, o problema a ser resolvido é apresentado. Além disso, as soluções existentes no mercado são expostas. No terceiro capítulo são apresentados a fundamentação e a base metodológica para a resolução do problema. O quarto capítulo aborda o referencial tecnológico das partes que compõe o protótipo. Também são apresentadas todas as especificações técnicas dos equipamentos utilizados. No quinto capítulo, as etapas necessárias para o desenvolvimento do projeto são apontados. O modelo proposto também é apresentado. No sexto capítulo, os resultados são apresentados e analisados. Por fim, o sétimo capítulo apresenta a conclusão do trabalho, onde são deixadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

2.1 - Introdução

No ambiente industrial, normalmente a grandeza nível é definida como a altura de uma coluna líquida ou de sólidos em pó ou em grãos, dentro de um recipiente fechado. Logo, o objetivo de um equipamento de medição de nível é fazê-lo de modo preciso, confiável e seguro. (RIBEIRO, 2009)

Para se medir o nível de modo preciso e confiável, devem-se conhecer os parâmetros físicos do tanque, as propriedades físicas e químicas do líquido cujo nível se quer medir, as características eletrônicas dos sinais digitais de comunicação e finalmente escolher o melhor sistema adequado às necessidades propostas. (RIBEIRO, 2009)

De acordo com Marco Antônio Ribeiro, especialista na área de automação industrial, há vários parâmetros para a escolha do melhor método de medição de nível, tais como:

- Estado do produto a ser medido: líquido ou sólido, limpo ou com sujeiras e contaminantes;
- Em qual unidade o resultado deve ser expresso: altura, volume, peso, massa, interface;
- Qual o tipo de exigência da precisão: medição operacional ou para transferência de custódia;
- Tipo de recipiente utilizado e dificuldades enfrentadas: tanque pressurizado ou à pressão atmosférica.

2.1.1 - Estado do produto a ser vendido

O emprego da medição de nível nas indústrias é configurado para controlar volumes de estocagens em tanques ou recipientes de armazenamento, onde o meio, quase sempre é um

líquido. Aliando isso ao escopo desse trabalho, que tem como substância a ser medida a água, é interessante apenas citar os métodos que trabalhem apenas com substâncias líquidas.

2.1.2 - Unidade como Resultado

O nível pode ser expresso em altura de coluna líquida (metro), percentagem, volume, massa ou peso. Quando se deseja determinar o peso ou massa de um produto, o método mais adequado é o uso de células de carga (strain gauge), que é um método que usa um dispositivo que recebe um sinal e o retransmite, sendo assim capaz de medir deformações de corpos. (OMEGA, 2010)

Quando se quer a determinação de volume (que é o foco desse trabalho), o mais comum é arquear o tanque, colocar tabelas de arqueação no sistema supervisorio de operação, medir o nível e deduzir o volume. Arquear um tanque é construir uma tabela ou uma curva relacionando nível com o volume do tanque. (RIBEIRO, 2009)

2.1.3 - Exigência da precisão

Outro fator fundamental na escolha do sistema de medição de nível é a exigência da precisão, que está relacionada diretamente com o objetivo da medição: operacional ou para transferência de custódia. A medição operacional requer incerteza maior que a medição para transferência de custódia, que é aquela cuja venda e compra do produto se baseia na medição de nível. Na indústria de petróleo, no Brasil, há a medição fiscal e de apropriação de nível, requeridas pela Agencia Nacional de Petróleo (ANP), onde estão definidas as precisões de 6 e 12 mm, respectivamente. (RIBEIRO, 2009)

Para que um tanque possa ser considerado um container para medição de transferência de custódia, ele precisa ser arqueado. Todo tanque para transferência de custódia deve ser arqueado a cada dez anos e inspecionado a cada três anos, quando se verificam sua inclinação, corrosão e deformação. (OIMLR71,1985)

2.1.4 - Recipientes utilizados e dificuldades enfrentadas

O recipiente onde o líquido está armazenado, cujo nível se quer medir, pode ser pressurizado ou atmosférico. O nível do tanque pressurizado é mais difícil de medir e de calibrar que o nível do tanque aberto para a atmosfera, pois há restrições de abertura do tanque para a calibração. Qualquer que seja o sistema de medição de nível escolhido, há problemas gerais que podem afetar todos ou algum método de medição. (RIBEIRO, 2009)

Segundo Marco Ribeiro, a principal dificuldade na medição de nível, certamente está relacionada com a temperatura, quando se quer a massa ou volume do conteúdo. A temperatura afeta as dimensões do tanque e o volume do fluido contido no tanque. A temperatura também pode afetar a densidade e a composição do fluido. (RIBEIRO, 2009)

Outras dificuldades incluem:

- A não planicidade da superfície livre, por causa de marolas e ondas e por causa de sólidos em suspensão no líquido;
- Deposição de partículas em bóias e deslocadores, alterando seu peso;
- Entupimento de tomadas de pressão diferencial;
- Incompatibilidade do material do sensor (de contato) com o líquido a ser medido;
- Influência de vibração em sensores com peças móveis ou que inclui a frequência na detecção;
- Alteração da geometria e corrosão de sensores de contato, como bóias e deslocadores.

2.2 - Mercado

Considerada como uma das principais variáveis das indústrias de processo, a medição de nível é aplicada às mais variadas densidades de produto. Para controlá-la, o equipamento que leva o nome medidor de nível, movimenta um mercado estimado entre US\$ 20 milhões e US\$ 50 milhões por ano, valor calculado apenas nos grandes projetos. A indústria de mineração e saneamento aparecem como os grandes compradores, seguidas atualmente pela

indústria de petróleo e açúcar e álcool. Em 2002 e 2003 a indústria de papel e celulose figurava como o principal consumidor desse tipo de equipamento. (VIEIRA, 2004)

Assim como acontece com os demais equipamentos da área de automação e instrumentação, a maioria dos medidores de nível comercializados no país são importados. O único caso de fabricação desse tipo de equipamento acontece em São Paulo. (VIEIRA, 2004)

Segundo Mauro Stein, engenheiro da MS Instrumentos Industriais, a queda de preço de algumas tecnologias é um dos principais responsáveis da disseminação de medidores de nível no mercado. Além disso, usuários que já trabalham com medição de nível há bastante tempo não estão mais apenas à procura de um equipamento. “Existem tendências em algumas empresas de não comprar mais apenas um equipamento de medição de nível e, sim, uma solução de medição de nível”, diz o engenheiro. Ele calcula que a MS Instrumentos comercializa perto de US\$ 1 milhão em equipamentos de nível por ano. (VIEIRA, 2004)

2.3 - Soluções Existentes

Há uma grande variedade de métodos para medição de nível no mercado. Cada sistema de medição possui suas vantagens e suas desvantagens. Cabe ao interessado fazer um estudo, levantando todos os parâmetros existentes como mostrado anteriormente, e então pesquisar no mercado, escolhendo aquele que mais vai lhe trazer vantagens.

A seguir são apresentados os sistemas de medição de nível mais conhecidos e aplicados industrialmente.

Quanto a classificação, na maior parte das literaturas técnicas, as medidas de nível podem ser de dois tipos:

1. Medida direta.
2. Medida indireta.

2.4 - Medida Direta

É toda a tomada de medida cujo mecanismo ou elemento de medição tem contato direto com a substância a ser medida, podendo ser de monitoramento contínuo ou discreto. Segundo o engenheiro Arivelto Fialho, autor do livro “Instrumentação Industrial – Conceitos, Aplicações e Análises”, os métodos mais conhecidos e aplicados industrialmente destinados à medição de nível de líquidos, são: medição por visores de nível, por bóias e flutuadores, por contatos de eletrodos e por sensor de contato.

2.4.1 - Medição por Visores de Nível

São elementos de formatos diferenciados apropriados a cada aplicação. Consistem em uma janela de vidro de alta resistência a impacto, elevadas temperatura e pressão, bem como ação de ácidos. (FIALHO, 2002)

É transparente e pode ser montada diretamente na parede do reservatório, como mostra a Figura 2.1, ou em um tubo externo a esse, mostrado na Figura 2.2, podendo ter ou não uma escala de medição. No tipo de montagem externa ao tanque, são dotados de válvulas de bloqueio, suspiro e dreno para permitir a manutenção ou substituição. (FIALHO, 2002)

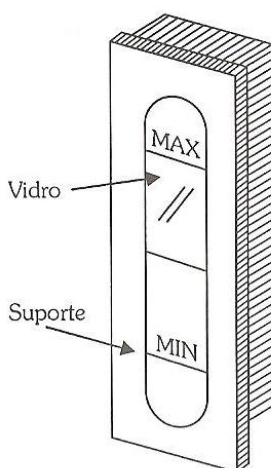


Figura 2.1 – Visor de nível de simples indicação.
Fonte: FIALHO, 2002.

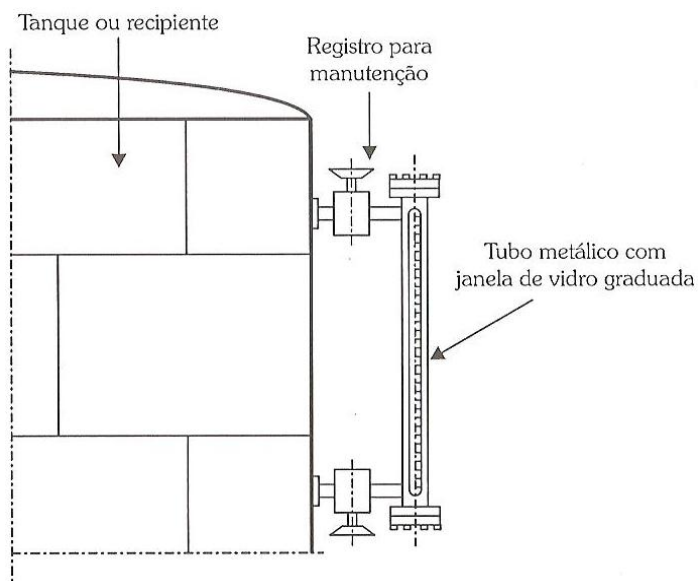


Figura 2.2 – Visor de nível de uso externo com escala graduada e registro para paradas de manutenção ou troca.
Fonte: FIALHO, 2002.

2.4.2 - Medição por Bóias

O sistema de controle de nível por bóia baseia-se na mudança de altura de um flutuador colocado na superfície do líquido. Seu movimento pode transmitir uma informação, como nas Figuras 2.3 e 2.4, que possibilita o conhecimento da altura efetiva, em unidade de comprimento ocupado pelo fluido dentro do recipiente que o contém. (FIALHO, 2002)

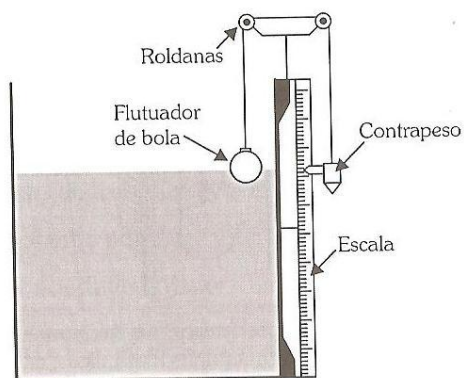


Figura 2.3 – Medição de nível contínuo com flutuador de bóia e indicador no contrapeso.
Fonte: FIALHO, 2002.

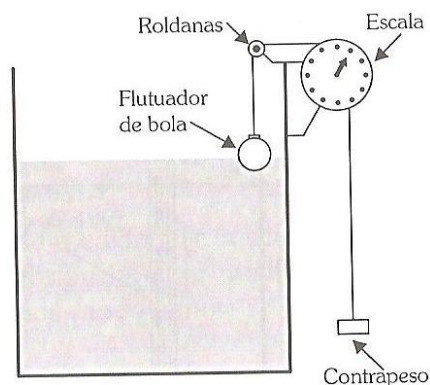


Figura 2.4 – Medição de nível contínuo com flutuador de bola e contrapeso .

Fonte: FIALHO, 2002.

2.4.3 - Medição por Contatos de Eletrodos

Este tipo de procedimento é particularmente aplicável à medição de nível de fluidos condutivos, não corrosivos e livres de partículas em suspensão. (FIALHO, 2002)

A sonda de medição é formada por dois eletrodos cilíndricos, ou apenas um quando a parede do reservatório for metálica. O sistema é alimentado com tensão alternada de baixo valor, a fim de evitar a polarização dos eletrodos. (FIALHO, 2002)

Pode ser utilizado para medições contínuas ou discretas. Em medições contínuas a sonda é montada verticalmente do topo para dentro do reservatório, sendo tão profunda tal qual o nível que se deseje medir, como mostra a Figura 2.5. A corrente elétrica circulante é proporcional à parcela do eletrodo imersa no fluido. (FIALHO, 2002)

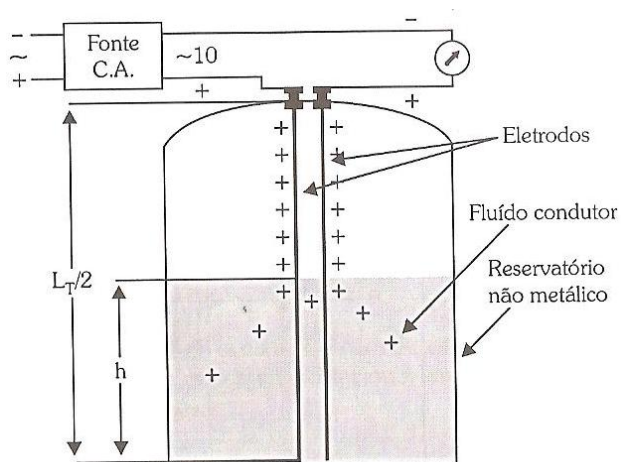


Figura 2.5 – Reservatório com par de eletrodos.

Fonte: FIALHO, 2002.

Por meio de manipulações matemáticas, tem-se que $h = [L \cdot (U \cdot \phi \cdot A / 2 \cdot I)]$

Onde:

- I – Corrente elétrica em Ampère.
- U – Tensão elétrica em volts.
- L – Comprimento do condutor em metros.
- Φ – Condutividade elétrica do condutor.
- A – Seção transversal do condutor.

2.4.4 - Medição por Sensor de Contato

O sistema de barreira de ar é aplicado basicamente para o controle de nível mínimo e máximo, ou seja, age como chave de nível. Trata-se de um circuito eletropneumático, dotado de um sensor, como mostra a Figura 2.6, que ao ser alimentado por uma conexão **P** emite por meio desse sensor em direção ao fluido, um fluxo de ar a uma determinada pressão. Esse sensor é normalmente alojado em um tubo de imersão. (FIALHO, 2002)

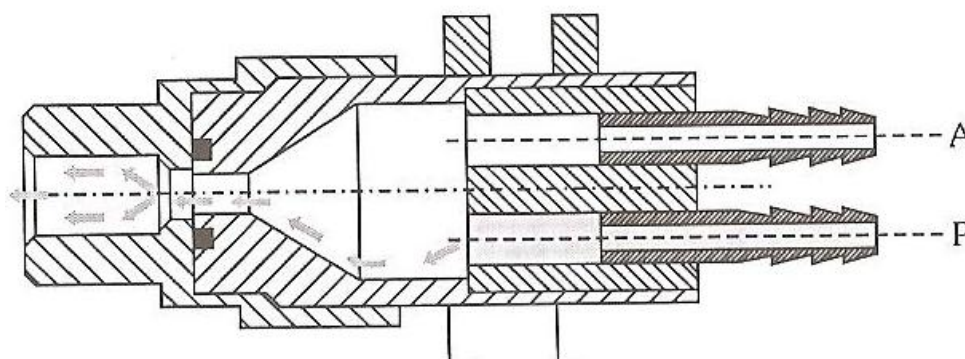


Figura 2.6 – Detalhe do sensor pneumático.
Fonte: FIALHO, 2002.

Quando o sensor está inativo, o ar de alimentação escapa pelo tubo de imersão. Assim que o fluido atinge o nível da extremidade inferior do tubo de imersão, fechando-o, aparece na saída **A** do sensor um sinal, cuja pressão é proporcional à altura do fluido, até o valor da

pressão de alimentação. A pressão do sinal substituirá enquanto o fluido mantiver a abertura fechada, como mostrado na figura 2.7. (FIALHO, 2002)

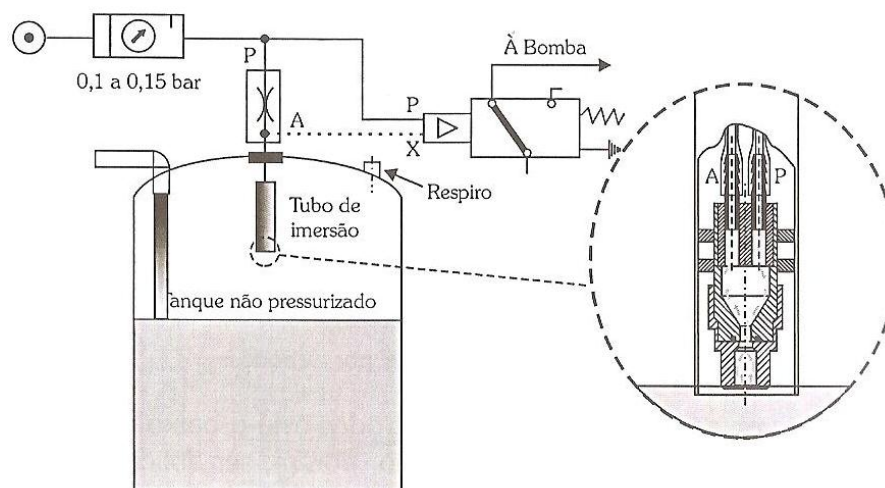


Figura 2.7 – Controle de nível simples com detalhe do tubo de imersão e sensor quando ativado pelo nível máximo do fluido. **Fonte:** FIALHO, 2002.

2.5 - Medida Indireta

É obtida por meio de grandezas físicas como pressão, empuxo, propriedades elétricas, radiação, ultra-som, etc. Segundo Arivelto Fialho, os mais conhecidos e aplicados industrialmente são: medição por capacitância, por empuxo, por pressão hidrostática, por célula d/p CELL, por caixa de diafragma, por tubo em U, por borbulhamento, por radioatividade, por ultra-som, por vibração e por pesagem. (FIALHO, 2002)

2.5.1 - Medição por Capacitância

A medição de nível por meio da capacitância é um sistema de medição com larga aplicação. Com esse sistema é possível efetuar a medição contínua do nível de líquidos e sólidos, tendo seu princípio de funcionamento baseado no funcionamento de um capacitor cilíndrico. (FIALHO, 2002)

Um capacitor cilíndrico consiste em dois cilindros concêntricos de comprimento L cujo cilindro maior (externo) é uma casca de raio b e o menor (interno), um sólido de raio a .

Seguindo então a relação em que ($L \gg b > a$), conforme a Figura 2.8, o espaço existente entre os cilindros concêntricos é ocupado por uma substância conhecida como “dielétrico”, que pode ser o próprio ar ou vácuo, um fluido líquido qualquer ou mesmo um sólido. (FIALHO, 2002)

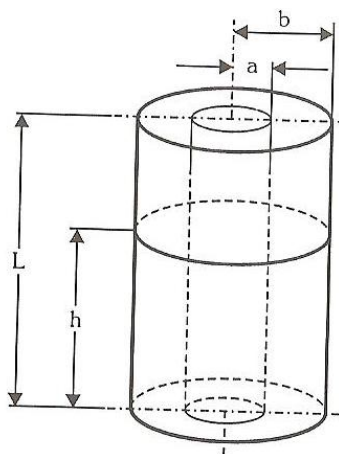


Figura 2.8 – Capacitor cilíndrico.
Fonte: FIALHO, 2002.

O sensor capacitivo pode ser montado na forma de uma sonda que é montada na parte superior de um reservatório, como mostra a Figura 2.9, voltada para dentro e imersa no fluido que ali esteja estocado, ou ainda uma simples haste cilíndrica metálica de raio a , sendo que o cilindro externo será o próprio tanque metálico de estocagem. (FIALHO, 2002)

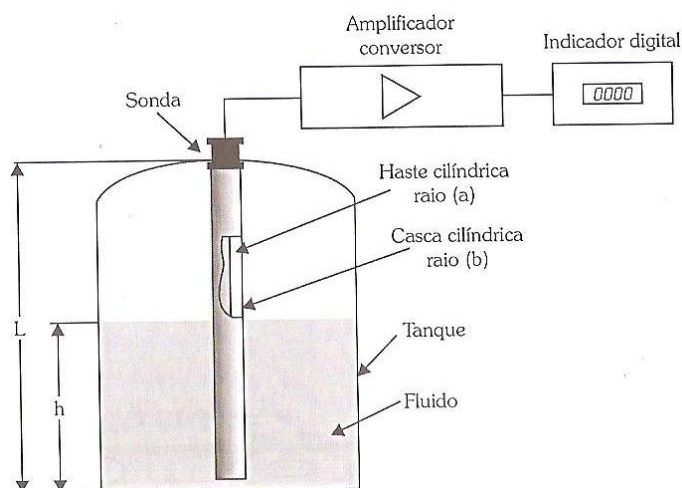


Figura 2.9 – Sonda capacitiva cilíndrica (esquemático).
Fonte: FIALHO, 2002.

À medida que o nível do tanque for aumentando, o valor da capacitância aumenta progressivamente à medida que o dielétrico ar é substituído pelo dielétrico líquido a medir.

2.5.2 - Medição por Empuxo

Nesse sistema, um elemento (flutuador) com densidade maior que o líquido cujo nível se deseja medir é suspenso por uma mola, um dinamômetro ou uma barra de torção. (FIALHO, 2002)

À medida que o nível do líquido aumenta, o peso aparente de flutuador diminui, fazendo atuar o mecanismo de indicação ou de transmissão. Entretanto, para o uso adequado desse medidor, a densidade do líquido deve ser conhecida e constante. (FIALHO, 2002)

Comumente se usa para medição de nível com flutuador um deslocador que sofre o empuxo do nível de um líquido, transmitido para um indicador esse movimento por meio de um tubo de torque, como mostrado na Figura 2.10. (FIALHO, 2002)

O medidor deve ter um dispositivo de ajuste para densidade do líquido cujo nível estamos medindo, pois o empuxo varia com a densidade. (FIALHO, 2002)

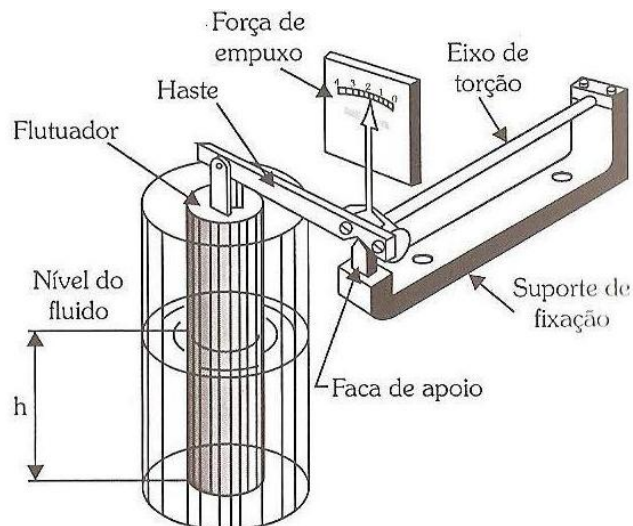


Figura 2.10 – Sonda capacitiva cilíndrica (esquemático).
Fonte: FIALHO, 2002.

Para o dispositivo da Figura 2.10, uma vez que o diâmetro do flutuador é conhecido, assim como o peso específico do fluido, basta ler a força de empuxo indicada pelo ponteiro na escala e aplicar alguns cálculos matemáticos para obter o nível h do fluido. (FIALHO, 2002)

2.5.3 - Medição por Pressão Hidrostática

Pressão hidrostática é a exercida por um fluido líquido em equilíbrio estático, que se distribui de forma uniforme em todas as direções de contato com o recipiente que o contém, sendo é claro, de valor diretamente proporcional à profundidade da tomada de medida. Assim, se a tomada de medida for feita no fundo do recipiente no qual está armazenando, a pressão hidrostática terá seu valor máximo. (FIALHO, 2002)

2.5.3.1 - Medição por Célula d/p Cell

O instrumento detector é uma célula do tipo d/p CELL que mede a pressão exercida por um líquido, utilizando para tal um transmissor de células de pressão diferencial, como mostra a Figura 2.11. Esse transmissor transmite quer um sinal pneumático, quer um sinal eletrônico a um indicador distante. (FIALHO, 2002)

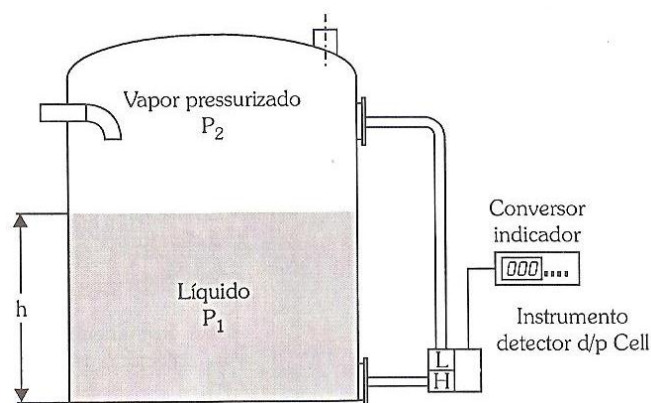


Figura 2.11 – Medição de pressão hidrostática – O instrumento é uma célula d/p CELL.
Fonte: FIALHO, 2002.

A pressão hidrostática exerce uma força contra um diafragma de aço da câmara de pressão (H), sendo este equilibrado contra a pressão atmosférica da câmara de pressão inferior (L). Qualquer desequilíbrio é detectado pelo transmissor que contém um amplificador que enviará um sinal em proporção direta ao nível no tanque. (FIALHO, 2002)

Este procedimento é apropriado a tanques abertos ou mesmo fechados, porém com respiradouros, tampas contendo ventanas, tanques não pressurizados. (FIALHO, 2002)

2.5.3.2 - Medição por Caixa de Diafragma

A medição por caixa de diafragma é uma variante da medição por pressão hidrostática, porém de custo bastante reduzido, pois o sistema é composto por uma simples caixa de diafragma imersa até o fundo do tanque, tendo em sua extremidade um capilar que se estende até a parte externa do tanque, sendo conectado a um manômetro de pressão. As Figuras 2.12 e 2.13 demonstram isso. (FIALHO, 2002)

Sua utilização é restrita a tanques não pressurizados e o diafragma pode ser do tipo fechado ou aberto, podendo ainda estar localizado fora do tanque. (FIALHO, 2002)

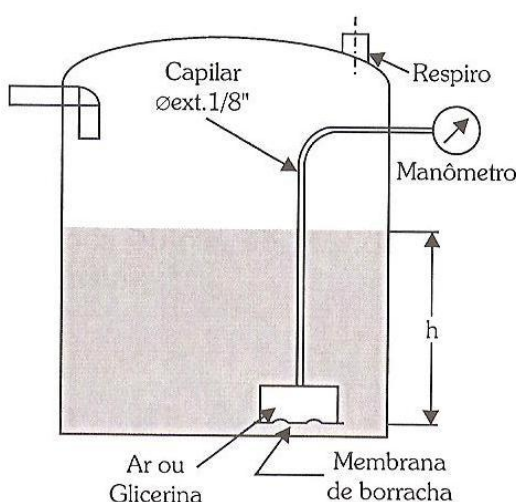


Figura 2.12 – Caixa de diafragma fechada.
Fonte: FIALHO, 2002.

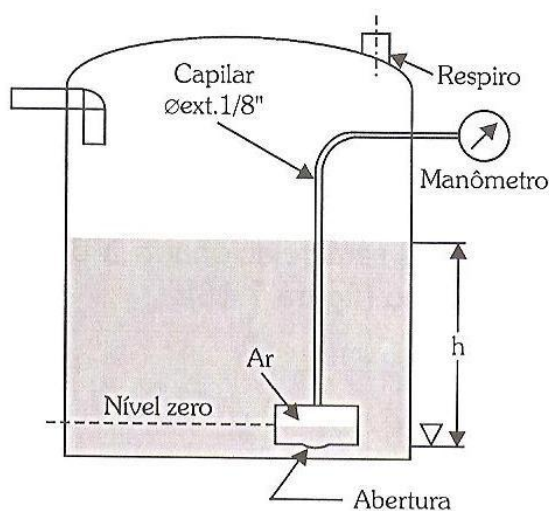


Figura 2.13 – Caixa de diafragma aberta.
Fonte: FIALHO, 2002.

2.5.3.3 - Medição por Tubo em U

A medição de nível por tubo em U é mais uma das variantes, e talvez a mais barata de todas, da medição por pressão hidrostática. (FIALHO, 2002)

O sistema consiste em um simples tubo em U contendo mercúrio, instalado no fundo de um reservatório não pressurizado ou aberto, e considerando que o reservatório venha sempre a conter o mesmo tipo de líquido, isto quer dizer que será sempre o mesmo peso específico. Em vez da escala de pressão, pode ser registrada no tubo uma escala apropriada que permita a leitura do nível do líquido diretamente neste, como mostra a Figura 2.14. (FIALHO, 2002)

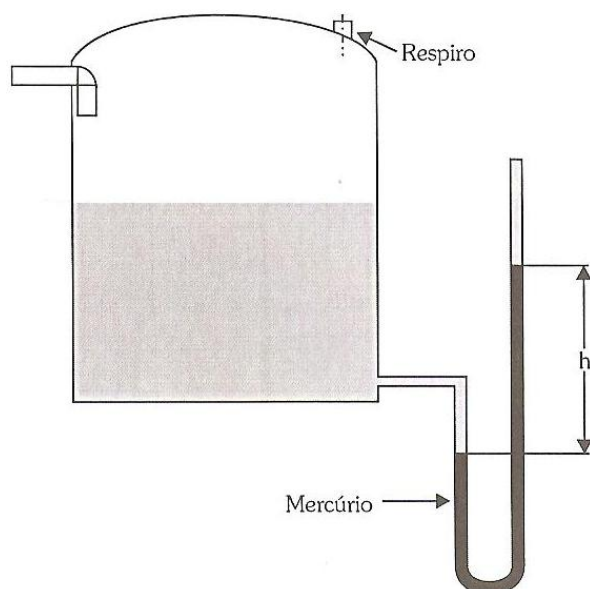


Figura 2.14 – Medida de nível com manômetro em U.
Fonte: FIALHO, 2002.

2.5.3.4 - Medição por Borbulhamento

Neste sistema é importante que o peso específico do líquido permaneça sempre constante. O sistema é alimentado com um suprimento de ar ou gás com uma pressão aproximadamente 20% maior que a máxima pressão hidrostática exercida pelo líquido. O suprimento de alimentação é continuamente introduzido na parte superior de um tubo mergulhado e sai em borbulhas pela sua extremidade inferior. (FIALHO, 2002)

A vazão de suprimento é ajustada por uma válvula de agulha até que se observe a formação de bolhas em pequenas quantidades, havendo então, um borbulhamento sensível no líquido em medição. No outro braço da tubulação é instalado um manômetro que indica o valor da pressão devido ao peso da coluna líquida, como mostrado na Figura 2.15. (FIALHO, 2002)

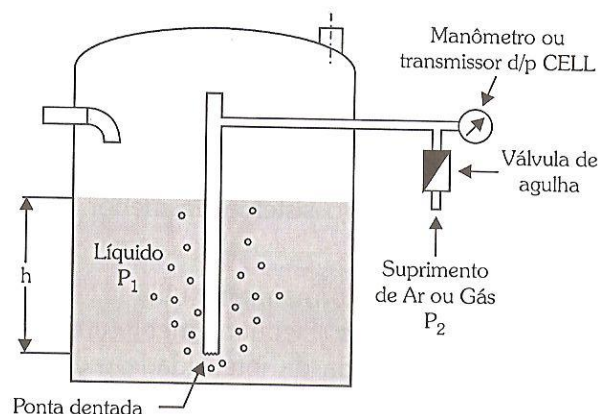


Figura 2.15 – Medição de nível por borbulhamento.
Fonte: FIALHO, 2002.

A figura 2.16 apresenta uma outra variação para esse mesmo sistema, em que o nível do líquido pode ser lido diretamente em uma coluna d'água ou mercúrio formada em um trecho de tubo de vidro.

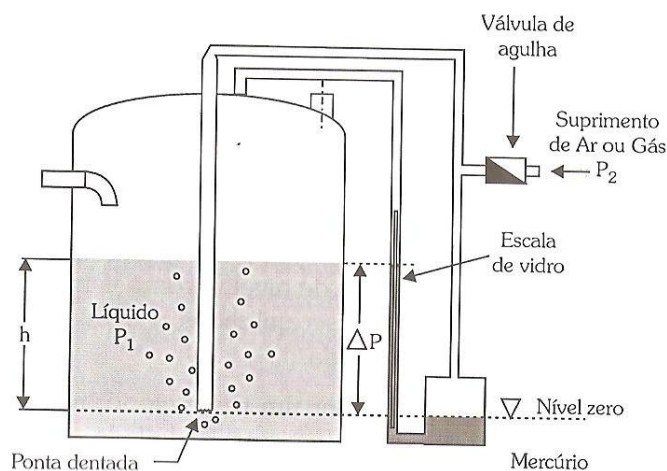


Figura 2.16 – Medição de pressão diferencial por borbulhamento.
Fonte: FIALHO, 2002.

2.5.4 - Medição por Radiação

A medição de nível de líquidos ou sólidos armazenados em tanques ou reservatórios por meio de radiação é um processo caro e não muito difundido principalmente porque só deve ser utilizado em situações em que for completamente impossível a aplicação de algum outro sistema de menor risco, e portanto, que necessite menor grau de proteção. (FIALHO, 2002)

Esses sensores são constituídos por um reservatório; num dos seus lados está localizada uma fonte de raios gama (emissor) e do lado oposto um conjunto de células de medida (receptor). A Figura 2.17 mostra um reservatório equipado com um controlador de nível por radiação. (FIALHO, 2002)

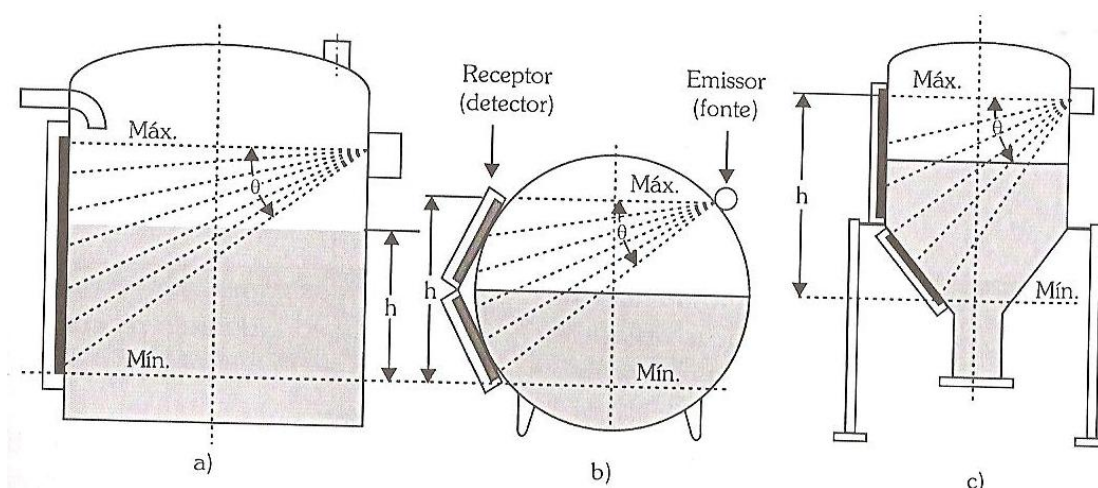


Figura 2.17 – Reservatórios equipados com controlador de nível por radiação.

Fonte: FIALHO, 2002.

O princípio de funcionamento do sensor radioativo reside na absorção de um feixe radioativo pelo produto do qual se quer medir uma determinada característica, neste caso o nível. A fonte emite raios gama (γ) empregando normalmente o cobalto ou o cério. (FIALHO, 2002)

A fonte radioativa é colocada normalmente no exterior do reservatório. Suas emissões irão atravessar o reservatório e serão recebidas pelas células de detecção. Há, porém, como já citado, uma redução da intensidade da radiação ao atravessar o reservatório, a qual é continuamente convertida em sinal elétrico. A quantidade de radiação recebida pelo detector é uma função da absorção dos raios gama pelo fluido. (FIALHO, 2002)

2.5.5 - Medição por Ultra-som

O ultra-som é uma onda sonora de altíssima frequência que não pode ser percebida pelo ouvido humano cuja faixa audível varia de 20 Hz a 20 KHz. Sua velocidade é uma função do módulo volumétrico de elasticidade (ou módulo de compressão) e da densidade do meio no qual se propaga. (FIALHO, 2002)

Na medição de nível sua aplicação se dá pela medição do tempo em que ela é emitida e recebida, quando a partir da emissão por uma fonte de ultra-som propaga-se até refletir devido à colisão com um meio de densidade diferente do qual está se propagando, como mostrado na Figura 2.18. (FIALHO, 2002)

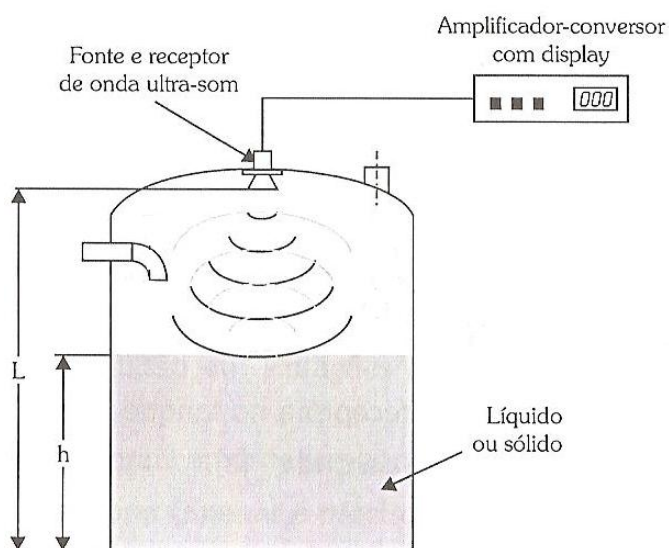


Figura 2.18 – Medição de nível com ultra-som.
Fonte: FIALHO, 2002.

2.5.6 - Medição por Microondas

De forma análoga ao sistema de medição por ultra-som, a medição de nível por microondas é feita por meio de um emissor-receptor de pulsos eletromagnéticos. A fonte emissora de formato cônico emite pulsos eletromagnéticos em direção à substância armazenada. Ao colidirem com um meio de densidade diferente, esses pulsos serão refletidos e captados pelo receptor, que medirá a diferença entre o comprimento das microondas emitidas e refletidas. (FIALHO, 2002)

A Figura 2.19 demonstra o esquemático de uma medição de nível com microondas.

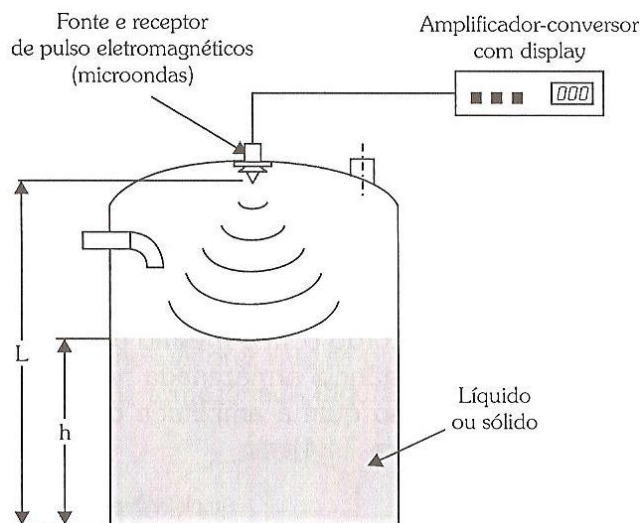


Figura 2.19 – Medição de nível com microondas.
Fonte: FIALHO, 2002.

2.5.7 - Medição por Vibração

Este princípio de medição utiliza-se de dois osciladores piezelétricos fixados dentro de um tubo, gerando vibrações nesse tubo à sua frequência de ressonância. (FIALHO, 2002)

A frequência ressoante do tubo varia de acordo com a sua profundidade de imersão na substância líquida ou sólida armazenada. Um circuito PLL é utilizado para acompanhar essas vibrações e ajustar a frequência aplicada ao tubo pelos osciladores piezelétricos. A medida do nível h é obtida em função da frequência de saída do oscilados quando o tubo está em ressonância. (FIALHO, 2002)

O tubo imerso responde de acordo com o mesmo princípio de um tubo ressonante fechado. O nível h da substância armazenada no tanque agirá como se fosse um nodo de deslocamento, no qual a amplitude de deslocamento de um elemento oscilante de ar é zero. A Figura 2.20 demonstra seu funcionamento. (FIALHO, 2002)

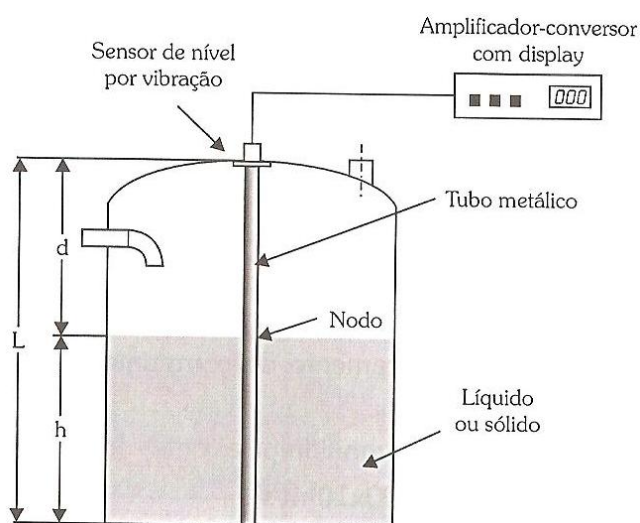


Figura 2.20 – Medição de nível por vibração (o sensor é montado dentro do tubo).

Fonte: FIALHO, 2002.

2.5.8 - Medição por Pesagem

E por fim, temos a medição de nível por pesagem. Este é um meio relativamente simples de medir o nível de líquidos ou sólidos armazenados em tanques e recipientes. Basicamente se utiliza uma célula de carga convenientemente instalada (tanque montado sobre plataforma de pesagem) e devidamente ajustada aos valores que se pretende como nível mínimo e máximo ocupado pela substância armazenada, como mostra a Figura 2.21. (FIALHO, 2002)

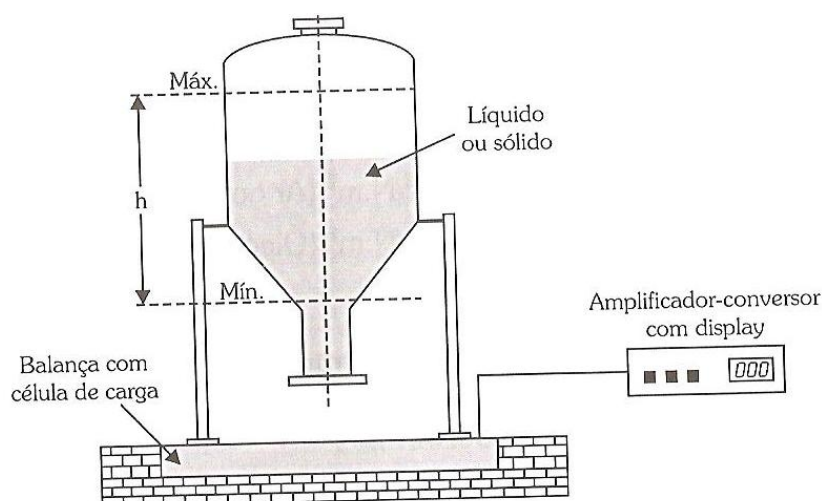


Figura 2.21 – Medição de nível por pesagem.

Fonte: FIALHO, 2002.

2.6 - Conclusão

Nesse capítulo, foi mostrado quais são e como funcionam os principais e mais utilizados métodos para medição de nível existentes no mercado. Entretanto, nota-se a não existência de um método que utilize a pressão interna de um recipiente pressurizado para medir o nível do tanque.

De forma semelhante, para esse trabalho alguns especialistas no assunto foram contatados e consultados sobre a existência de algum método que utilize a pressão absoluta como forma de medição de nível, entretanto, todos afirmam desconhecer. O modelo proposto por esse trabalho relaciona Pressão e Volume.

No próximo capítulo é mostrada toda a fundamentação e a base metodológica que possibilitam a criação de um medidor para tanques ou reservatório via pressão.

CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO E BASE METADOLÓGICA

3.1 - Princípios de Química

No estado gasoso, todas as substâncias apresentam propriedades físicas bastante semelhantes. Além disso, os volumes dos diferentes gases respondem quase do mesmo modo a mudanças na massa, pressão e temperatura. (MASTERTON, 1990)

É possível escrever uma equação relacionando o volume de qualquer gás com a massa, temperatura e pressão. Esta equação é conhecida como **Lei dos Gases Ideais**, que é explicada mais tarde nesse trabalho. Entretanto, para que se possa entender melhor a natureza e aplicações da lei dos gases ideais, primeiramente é feita uma rápida revisão sobre medição de pressão. (MASTERTON, 1990)

3.2 - Pressão

A pressão é definida como força por unidade de área. Contudo, devido ao modo pelo qual é medida, a pressão geralmente é expressa em milímetros de mercúrio (mmhg). Outra unidade comumente usada para expressar a pressão de um gás é a atmosfera padrão, ou simplesmente atmosfera (atm), que é a pressão exercida por uma coluna de mercúrio de 760 mm de altura estando o mercúrio a 0°C. (MASTERTON, 1990)

Torriceli, um cientista italiano, foi a primeira pessoa a medir a pressão atmosférica acuradamente, em 1640. O aparelho por ele construído é o barômetro de mercúrio, que consiste em um tubo de vidro fechado cheio de mercúrio e invertido sobre um recipiente com mercúrio. Quando o tubo é invertido pela primeira vez, o mercúrio flui para o recipiente, deixando um vácuo quase perfeito acima do mercúrio no tubo. Após alguns segundos, a coluna de mercúrio se estabiliza. Como mostrado na Figura 3.1, a pressão exercida pela coluna de mercúrio equilibra exatamente a da atmosfera. Portanto, a altura da coluna de mercúrio é uma medida da pressão atmosférica. Ao nível do mar ou próximo, a pressão varia de 740 a 760 mm, dependendo das condições atmosféricas. (MASTERTON, 1990)

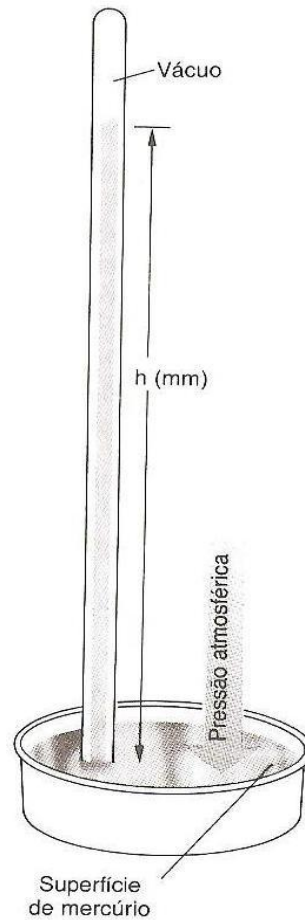


Figura 3.1 – Barômetro de mercúrio
Fonte: MASTERTON, 1990.

Outras unidades de pressão incluem:

- Libras por polegada quadrada. Um peso de 1 lb atuando em uma superfície de 1 in² de área exerce um pressão de 1 lb/in².
- Quilopascal (unidade métrica de pressão). Uma massa de 10g atuando em uma superfície de 1 cm² de área exerce uma pressão de 1 kPa. A pressão atmosférica ao nível do mar está comumente próxima a 100 kPa.

Para converter entre estas unidade de pressão, usa-se as relações:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 14,70 \text{ lb/pol}^2 = 101,3 \text{ kPa}$$

Esse trabalho faz uso de um sensor que mede a pressão absoluta do recipiente.

3.5.1 - Pressão Atmosférica

É a força exercida pela atmosfera na superfície terrestre. Esta força equivale ao peso dos gases que estão presentes no ar e que compõem a atmosfera.

A pressão atmosférica pode variar de um lugar para o outro, em função da altitude e das condições meteorológicas (como a umidade e a densidade do ar). Ao nível do mar esta pressão é aproximadamente de 760 mmHg, ou 1 atm. Quanto mais alto o local, mais rarefeito é o ar e, portanto, menor a pressão atmosférica. O instrumento que mede a pressão atmosférica é o barômetro. (BEGA, 2006)

3.5.2 - Pressão Relativa

É determinada tomando-se como referência a pressão atmosférica local. Para medi-la, usam-se instrumentos denominados manômetros; por essa razão, a pressão relativa é também chamada de pressão manométrica. A maioria dos manômetros é calibrada em zero para a pressão atmosférica local. Assim, a leitura do manômetro pode ser positiva (quando indica o valor da pressão acima da pressão atmosférica local) ou negativa (quando se tem um vácuo). Quando se fala em pressão de uma tubulação de gás, refere-se à pressão relativa ou manométrica. (BEGA, 2006)

3.5.3 - Pressão Absoluta

É a soma da pressão relativa e atmosférica. No vácuo absoluto, a pressão absoluta é zero e, a partir daí, será sempre positiva. (BEGA, 2006)

Importante: Ao se exprimir um valor de pressão, deve-se determinar se a pressão é relativa ou absoluta.

Exemplo:

3 Kgf/cm² ABS - Pressão Absoluta

4 Kgf/cm² - Pressão Relativa

O fato de se omitir esta informação na indústria significa que a maior parte dos instrumentos mede pressão relativa. (BEGA, 2006)

3.5.5 - Pressão Diferencial

É a diferença entre 2 pressões, sendo representada pelo símbolo P (ΔP). Essa diferença de pressão normalmente é utilizada para medir vazão, nível, pressão, etc. (BEGA, 2006)

Uma comparação pode ser feita relacionando as pressões, como mostrado na Figura 3.2.

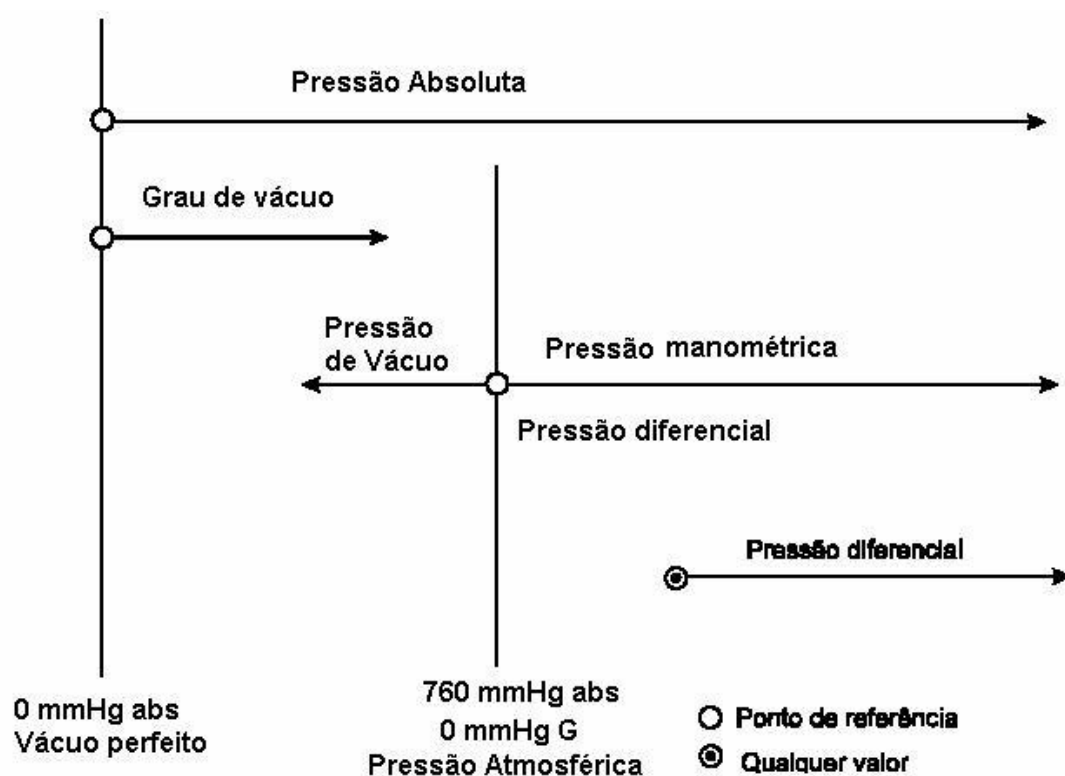


Figura 3.2 – Comparativo das Pressões
Fonte: (BEGA, 2006).

3.6 - A Lei dos Gases Ideais

Todos os gases são semelhantes em um aspecto: a dependência do volume em relação à quantidade, temperatura e pressão (MASTERTON, 1990):

1 – O volume é diretamente proporcional à quantidade. A Figura 3.3 mostra um gráfico típico de volume (V) versus número de moles (n) para um gás. Observe que o gráfico é uma linha reta que passa pela origem. A equação genérica é (1):

$$V = k_1 n \quad (P, T \text{ constantes}) \quad (1)$$

Onde k_1 é uma “constante”; isto é, independe de V ou n. Esta é a equação de proporcionalidade direta.

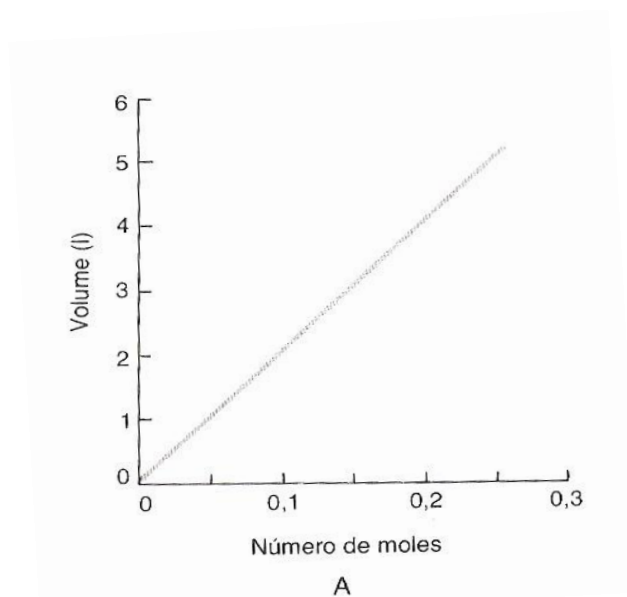


Figura 3.3 – A pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional ao número de moles.
Fonte: MASTERTON, 1990.

2 – O volume é diretamente proporcional à temperatura absoluta. A dependência do volume (V) com a temperatura (T) é mostrada na Figura. 3.4. De novo, o gráfico é uma reta que passa pela origem. A equação genérica é (2):

$$V = k_2 T \quad (P, n \text{ constantes}) \quad (2)$$

Onde k_2 é uma constante independente de V ou T. Esta relação foi apresentada pela primeira vez por dois cientistas franceses, Charles e Gay-Lussac. É usualmente referida como Lei de Charles e Gay-Lussac.

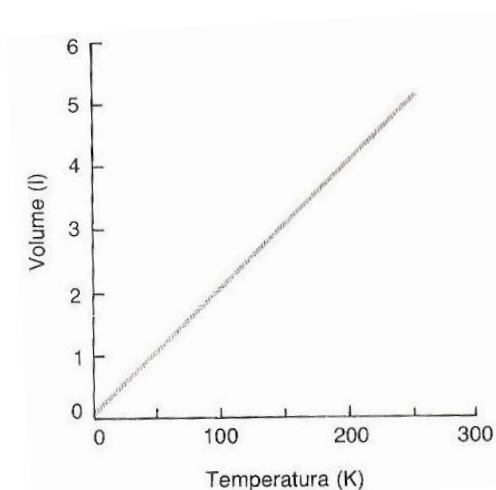


Figura 3.4 – A pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta.

Fonte: MASTERTON, 1990.

3 – O volume é inversamente proporcional à pressão. A Figura 3.5 mostra um gráfico típico de volume (V) versus pressão (P). O gráfico é uma hipérbole. A equação genérica é (3):

$$V = k_3/P \quad (T, n \text{ constantes}) \quad (3)$$

Onde k_3 é uma constante. A equação acima é de proporcionalidade inversa. Tal fato foi constatado pela primeira vez por Robert Boyle.

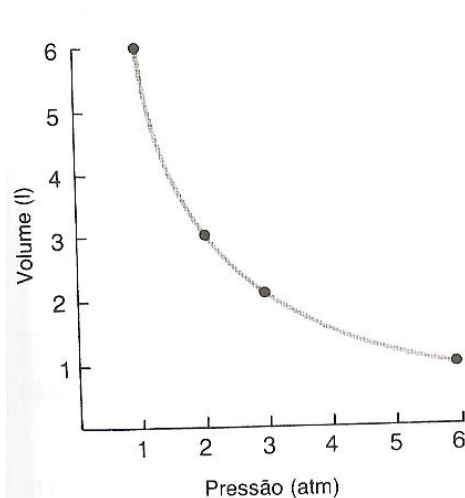


Figura 3.5 – A temperatura constante, o volume de uma amostra de gás é inversamente proporcional à pressão.

Fonte: MASTERTON, 1990.

Desse modo, as equações anteriores podem ser combinadas em uma única expressão relacionando o volume com a quantidade, temperatura e pressão. Como V é diretamente proporcional à n e T é inversamente a P, segue que (4)

$$V = \text{constante} \times (n \times T) / P \quad (4)$$

Esta equação é geralmente escrita de forma diferente. Representa-se a constante pelo símbolo R e multiplica-se ambos os lados da equação por P. Isto resulta na Lei dos Gases Ideais (5):

$$PV = nRT \quad (5)$$

onde P é a pressão, V é o volume, n é o número de moles e T é a temperatura Kelvin. A constante R na Lei dos Gases Ideais é uma constante real. Ela tem o mesmo valor para todos os gases, e é independente de P, V, n ou T.

Para determinar o valor de R, é preciso apenas estabelecer um conjunto de valores para P, V, n e T e colocar na equação (7). Considerando, por exemplo, o gás oxigênio a 0°C e 1,00 atm. Estas condições são usualmente referidas como condições normais de temperatura e pressão. Nestas condições, 32,0 g (1,00 mol) de O₂ ocupam um volume de 22,4 l. Resolvendo a para R, tem-se:

$$R = PV/NT \quad (8)$$

Substituindo P = 1,00 atm, V = 22,4 l, n = 1,00 mol, T = 0 + 273 = 273 K,

$$R = (1,00 \text{ atm} \times 22,4 \text{ l}) / (1,00 \text{ mol} \times 273 \text{ K}) = 0,0821 \text{ atm} \cdot \text{l} / (\text{mol} \cdot \text{K})$$

3.7 - Gases Reais

Os gases reais são todos os gases existentes na natureza. Porém, os gases reais não seguem rigorosamente a lei de Boyle, somente a altas temperaturas e baixas pressões eles se assemelham aos gases ideais. Entretanto, nesse trabalho, usa-se a Lei dos Gases Ideais assumindo total validade. Sob condições comuns, essa é uma boa aproximação. (MASTERTON, 1990)

CAPÍTULO 4 - REFERENCIAL TECNOLÓGICO

4.1 - Introdução

Esse capítulo aborda o referencial tecnológico das partes que compõe o protótipo do medidor para tanques ou recipientes via pressão, tanto Hardware quanto Software. Também são apresentadas todas as especificações técnicas dos equipamentos utilizados.

4.2 - Compressor de Ar

Um compressor de ar é um equipamento eletro-mecânico que basicamente serve para capturar o ar que está no meio ambiente e proporcionar uma elevação da pressão do gás ou escoamento gasoso.

Para esse projeto foi escolhido o compressor JetMIL-i, que é da MOTOMIL LTDA. Os dados técnicos desse equipamento podem ser encontrados na Tabela 4.1 e no Anexo C.

Tabela 1 – Dados técnicos do compressor de ar.

DESCRIÇÃO DO PRODUTO	MOTOCOMPRESSOR DE DIAFRAGMA
REFERÊNCIA	JetMIL i
FORNECEDOR	MOTOMIL IND. E COM. LTDA.
DESLOCAMENTO TEÓRICO	2,3 pés ³ / min – 65 l/min
POTENCIA DO MOTOR HP/KW	1,3 HP / 0,25 KW
NÚMERO DE POLOS DO MOTOR	4
TENSÃO	110V/220V (bi-volt através da chave seletora)
PRESSÃO DE OPERAÇÃO	MÁXIMA 40 lbf/pol ² (2,8 bar)
RPM DA UNIDADE COMPRESSORA	1730
UNIDADE COMPRESSORA	NÚMERO DE ESTÁGIO(1) - DIAFRAGMA
VOLUME DO RESERVATÓRIO	SEM (AR DIRETO)
PESO	14,6 Kg

Fonte: MOTOCOMPRESSOR JETMIL-i, 2010.

A Figura 4.1 mostra a foto do compressor JETMIL-I, que é o compressor utilizado no protótipo.



Figura 4.1 – Compressor JetMIL-i.

4.3 - Sensor

Um sensor é um dispositivo que serve para detectar uma grandeza física, quantificá-la, e transmiti-la de forma correspondente, só que na forma de um impulso mensurável ou operante. (THOMAZINI,2005)

Existem diversos tipos de sensores no mercado. Como exemplo, alguns conhecidos são: sensor de presença, de temperatura, de estacionamento, de volume, dentre outros.

4.3.1 - Sensor de Pressão

Um sensor de pressão é um dispositivo que converte uma pressão medida (“sentida”) em um sinal mecânico ou elétrico. (CASSIOLATO, 2008)

Os sensores são classificados conforme a técnica usada na conversão mecânica da pressão (deslocamento de um diafragma, por exemplo) em um sinal eletrônico proporcional. O método mais comum para a conversão do deslocamento do diafragma em um sinal

mensurável é capturar a deformação elástica induzida sobre a superfície do diafragma à medida que ele é deslocado. Todas as tecnologias tem um só propósito que é transformar a pressão aplicada em um sensor, em um sinal eletrônico proporcional a mesma. (CASSIOLATO, 2008)

As técnicas usadas para conversão mecânica da pressão em um sinal eletrônico proporcional são: (CASSIOLATO, 2008)

- Capacitância Variável (Capacitivos)
- Piezo-resistivo(Strain Gage)
- Potenciométrico
- Piezo-elétrico
- Relutância Variável
- Ressonante
- Ótico
- Outros

Esse projeto faz uso de um sensor de pressão. O sensor escolhido é o MPX4250AP, fabricado pela Freescale Semiconductor. A Figura 4.2 mostra a foto do sensor utilizado no protótipo.



Figura 4.2 – Sensor MPX4250AP.

O sensor MPX4250AP, que é o utilizado no desenvolvimento desse trabalho, utiliza como método para conversão a piezo-resistividade. A Figura 4.3 mostra o diagrama de bloco do circuito interno integrado do chip do sensor de pressão.

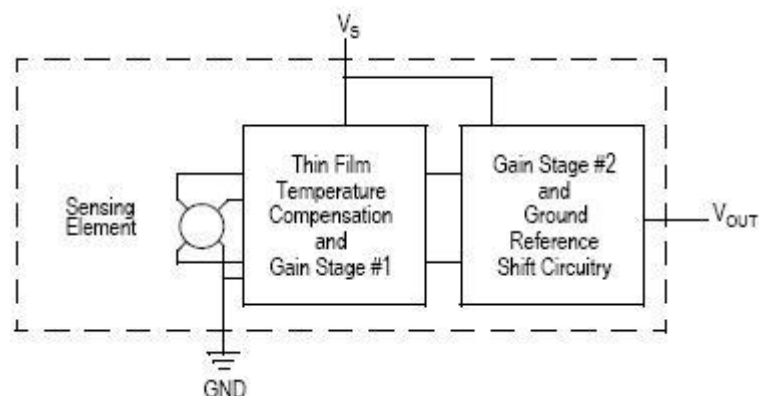


Figura 4.3 – Diagrama de Blocos do MPX4250AP
Fonte: DATA SHEET DO MPX4250AP.

O sensor é feito utilizando um piezo-resistor de silicone monolítico, que gera uma tensão de saída que varia conforme a pressão aplicada. O elemento resistivo, que constitui o medidor de pressão, é uma implantação de íon em um fino diafragma de silicone. Aplicando pressão sobre o diafragma, resulta em uma variação de resistência no medidor de pressão, que por conseguinte promove uma variação na tensão de saída diretamente proporcional à pressão aplicada. A figura 2.2 mostra um gráfico que relaciona o sinal de saída do sensor com a pressão de entrada. (ROCHA, 2003)

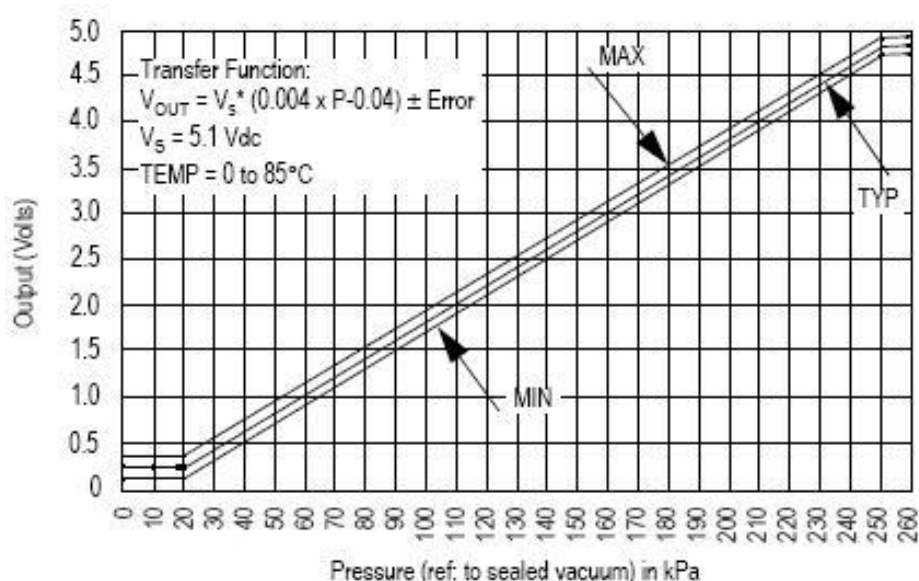


Figura 4.4 – Gráfico de tensão de Saída (Volts) VS Pressão (kPa).
Fonte: DATA SHEET DO MPX4250AP.

As características operacionais do MPX4250AP podem ser observadas na Tabela 4.2.

Tabela 2 – Características Operacionais do MPX4250AP sendo $V_S = 5.1$ VDC, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Características	Símbolo	Mínimo	Típico	Máximo	Unidade
Intervalo de Pressão	P_{OP}	20	-	250	kPa
Voltagem de Alimentação	V_S	4.85	5.1	5.35	V_{DC}
Corrente de Alimentação	I_O	-	7.0	10	mA_{DC}
Voltagem Correspondente a Pressão Mínima $V_S = 5.1$ Volts	V_{OFF}	0.133	0.204	0.274	V_{DC}
Voltagem Correspondente a Pressão Máxima $V_S = 5.1$ Volts	V_{OFF}	4.826	4.896	4.966	V_{DC}
Span $V_S = 5.1$ Volts	V_{OFF}	-	4.692	-	V_{DC}
Exatidão	-	-	-	± 1.5	% V_{FSS}
Sensividade	$\Delta V / \Delta P$	-	20	-	mV/kPa
Tempo de Resposta	t_R	-	1.0	-	msec
Corrente na Saída Máxima	I_{O+}	-	0.1	-	mA_{DC}
Tempo de Aquecimento	-	-	20	-	msec
Estabilidade	-	-	± 0.5	-	% V_{FSS}

Fonte: Adaptado do DATA SHEET MPX4250AP.

4.4 - Microcontrolador

Um microcontrolador é um “pequeno” componente eletrônico, dotado de uma “inteligência” programável, utilizado no controle de processos lógicos. (SOUZA, 2003).

O controle de processos lógicos pode ser entendido como o controle de periféricos. São chamados de controles lógicos, pois a operação do sistema baseia-se nas ações lógicas que devem ser executadas, dependendo do estado dos periféricos de entrada e/ou saída. O microcontrolador é programável, pois toda a lógica de operação é estruturada na forma de um

programa e gravada dentro do componente. Depois disso, toda vez que o microcontrolador for alimentado, o programa interno é executado. Quanto à “inteligência” do componente, esta pode ser associada à Unidade Lógica Aritmética (ULA), pois é nessa unidade que todas as operações matemáticas e lógicas são executadas. (SOUZA, 2003)

Uma das características fundamentais que diferencia o microcontrolador do microprocessador, é que no microcontrolador todos os componentes necessários ao controle de um processo estão unidos em uma única pastilha de silício encapsulada, mais conhecido como CI ou CHIP, ou seja, o microcontrolador está provido internamente de memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída paralela, timers, contadores, comunicação serial, PWMs, conversores analógico-digital (AD), etc. Já um processador não possui todos esses recursos em uma única pastilha. (SOUZA, 2003)

Existem diversos tipos de microcontroladores no mercado, onde os mesmos são diferenciados pelas suas características, tais como: memória interna, velocidade de processamento, quantidade de pinos de entrada e saída, voltagem de alimentação suportada, arquitetura, dentre outras.

Para esse trabalho, foi escolhido o microcontrolador PIC16F876A, que é um microcontrolador da Microchip, fabricante estadunidense de circuitos integrados analógicos e digitais.

4.4.1 - PIC

Os microcontroladores PIC apresentam uma estrutura de máquina interna do tipo Harvard, enquanto grande parte dos microcontroladores tradicionais apresenta uma arquitetura tipo Von-Neumann. A diferença está na forma como os dados e o programa são processados pelo microcontrolador. Na arquitetura tipo Von-Neuman, existe apenas um barramento (*bus*) interno, por onde passam as instruções e os dados. Já na arquitetura tipo Harvard existem dois barramentos internos, sendo um de dados e outro de instruções. No microcontrolador PIC, o barramento de dados é sempre de 8 bits e o de instruções pode ser de 12, 14 ou 16 bits, dependendo do microcontrolador. (SOUZA, 2003)

4.4.2 - Estruturação Interna

A Figura 4.5 (retirada do Data Sheet original da Microchip e que pode ser encontrada no anexo A) corresponde ao diagrama de blocos do microcontrolador PIC16F876A.

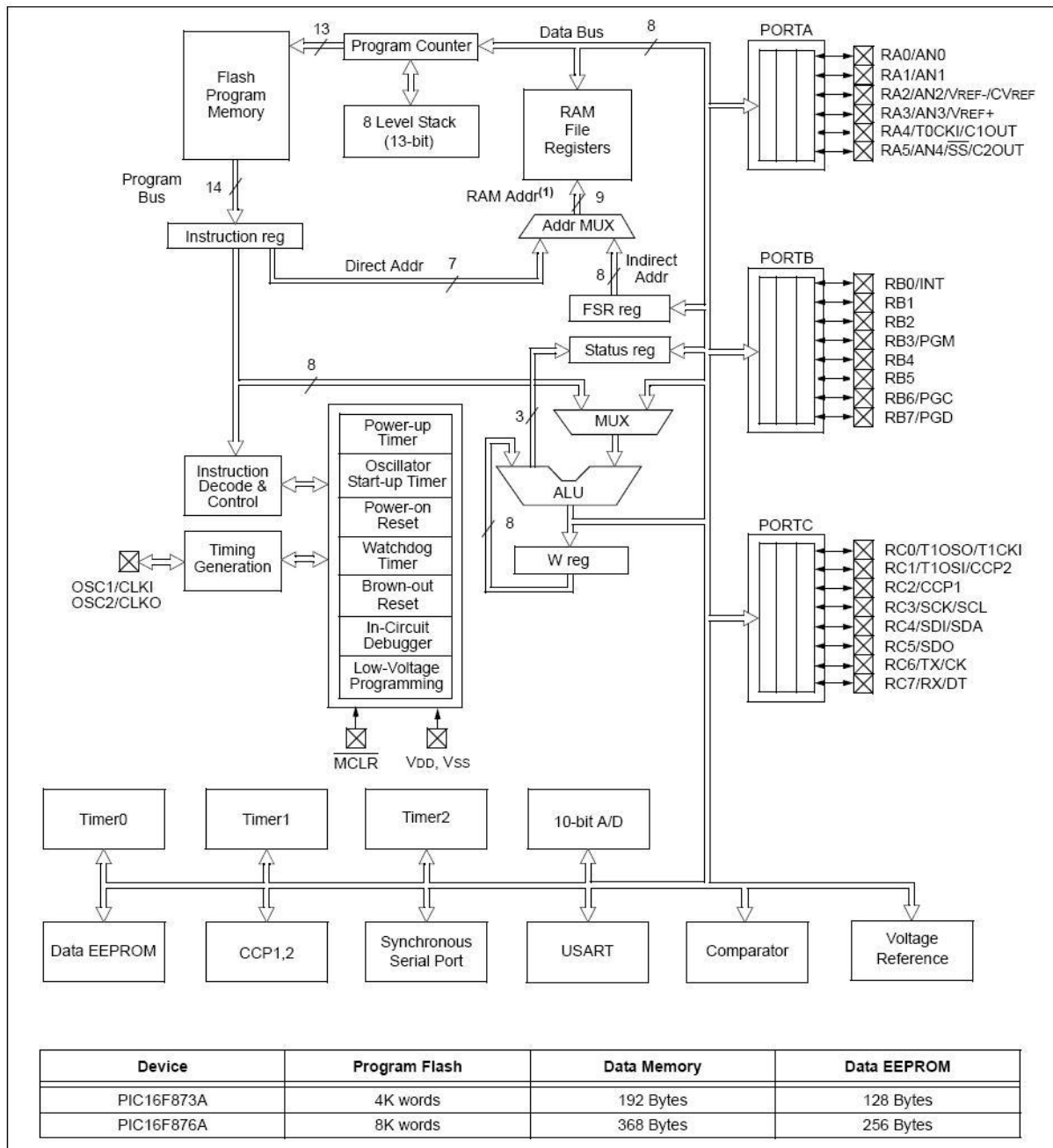


Figura 4.5 – Diagrama interno do PIC16F876A.

Fonte: DESBRAVANDO O PIC, 2003.

Pode ser observado que a *Arithmetic Logic Unit* (ALU) está diretamente ligada ao registrador W. No canto superior esquerdo está a memória de programa, que tem um barramento de 14 bits saindo do mesmo. Mais a direita está a memória de dados RAM. Ela já

possui um barramento de 8 bits. Mais a direita podem ser visualizadas as portas com todos os seus pinos de entrada e saída. Na parte inferior, os periféricos, tais como a EEPROM (memória de dados não volátil), os timers (Timer0, Timer1 e Timer2), o conversor analógico-digital de 10 bits (que é bastante utilizado no projeto), o comparador interno, o módulo CCP (Capture, Compare e PWM) e a porta serial USART. Mais acima pode ser observado o registrador de status (Status reg). Mais ainda acima, tem-se o contador de linha de programa (Program Counter) e a pilha de 8 níveis (Stack). Entre todos os periféricos a comunicação é feita por meio de um barramento de 8 bits. Por fim, é possível ver também os circuitos internos de reset, osciladores, Watchdog Timer (WDT), Power-up, Brown-out e In-Circuit Debugger internos.

4.4.3 - Pinagem

Cada microcontrolador possui um determinado número de portas para entrada e saída para comunicação externa. Como mostra o Data Sheet original da Microchip e que pode ser encontrada no anexo A desse trabalho, o PIC16F876A possui 28 pinos, sendo que são 22 portas para entrada e saída que estão divididas em 3 grupos denominados PORT. Desta forma, tem-se o PORTA, o PORTB e o PORTC. A Figura 4.6 ilustra a disposição dos pinos do microcontrolador utilizado.

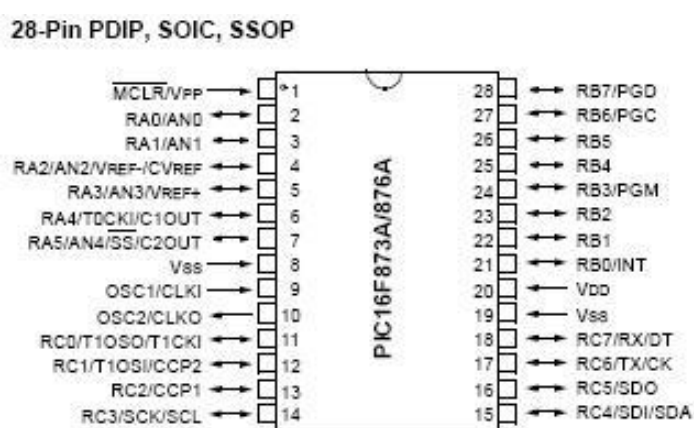


Figura 4.6 – Pinagem do PIC16F876A.

Fonte: DATASHEET DO 16F876A.

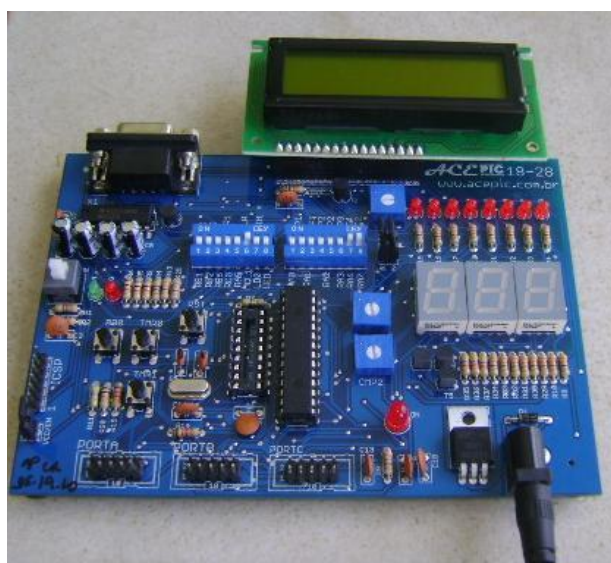
Esse microcontrolador possui 5 pinos para entrada analógica para conversão analógico-digital. São os pinos: 2, 3, 4, 5 e 7. Esse trabalho utilizou o pino 2 como entrada analógica para conversão analógico-digital.

O pino de alimentação V_{DD} , como pode ser visto na Figura 2.2, é o pino 20. Ele exige uma alimentação de +5 Volts. Os pinos 8 e 19 são o GND (Terra). Os pinos 9 e 10 são destinados ao oscilador (clock) externo. O PIC16F876A não possui oscilador interno.

Todas as demais características de cada pino podem ser encontradas no DATASHEET original do PIC16F876A, que se encontra no anexo desse trabalho.

4.5 - Kit de Desenvolvimento

Para a realização do circuito do microcontrolador, decidiu-se utilizar um kit de desenvolvimento que auxiliasse e que aceitasse um microcontrolador da família PIC com 28 pinos. Depois de muita pesquisa de mercado, foi escolhido então, o Kit de Desenvolvimento ACEPIC 18_28, o qual foi projetado tendo em vista a utilização de vários periféricos numa só placa, auxiliando projetos com microcontroladores PIC de 18 e 28 pinos. Como o microcontrolador escolhido foi o PIC16F876A que é de 28 pinos, é notável que apenas a entrada de 28 pinos acaba sendo utilizada. A Figura 4.7 corresponde a uma foto do Kit utilizado na realização do trabalho.



. **Figura 4.7** – Kit de Desenvolvimento utilizado no trabalho.
Fonte: AUTOR.

4.5.1 - Características

O Kit possui diversos periféricos que não são utilizados no trabalho. Entretanto, algumas características facilitam a utilização do mesmo:

- Possui gravador onboard.
- Saída para todas as portas do microcontrolador.
- Display de Cristal Líquido (LCD) 16 colunas e 2 linhas com Backlight;
- Apesar de ser alimentado por uma fonte de 12 Volts, ele mesmo transforma e alimenta o microcontrolador com 5 Volts.

A Figura 4.8 demonstra melhor o que vem presente no Kit.

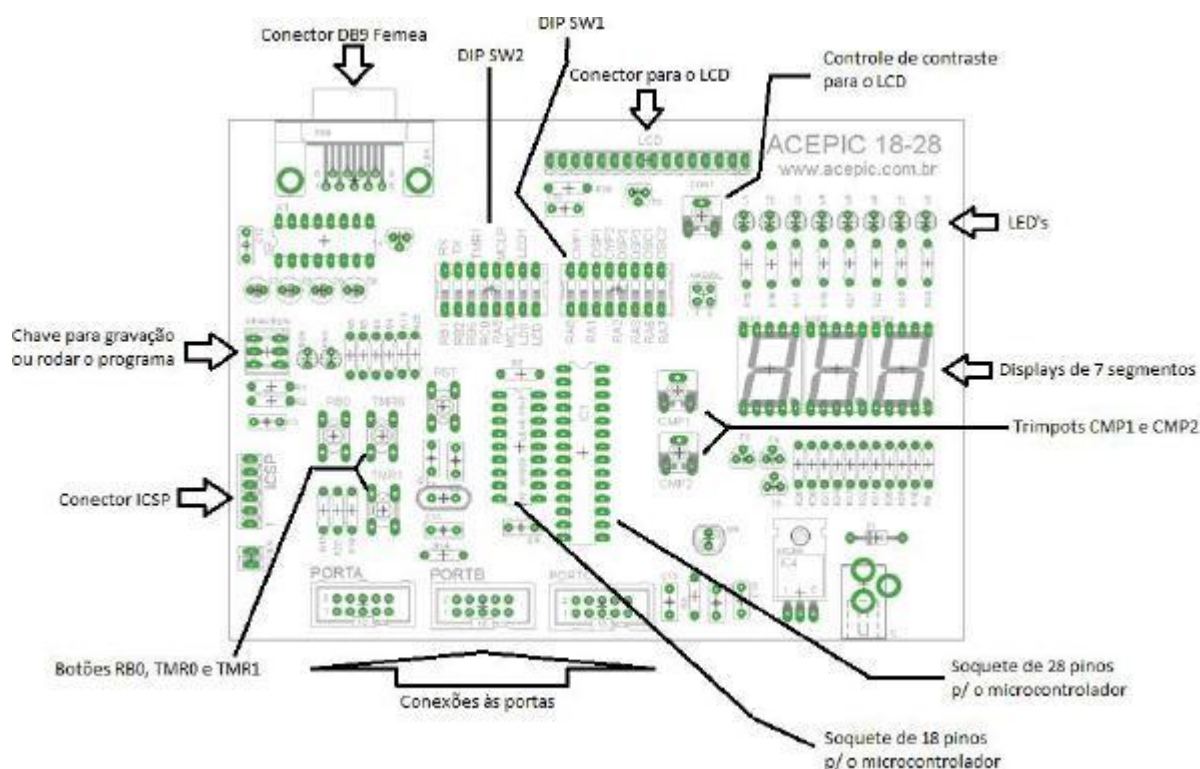


Figura 4.8 – Kit de Desenvolvimento utilizado no trabalho.

Fonte: MANUAL ACEPIC 18_28.

4.6 - Visor LCD

Um display LCD é um dispositivo eletrônico utilizado para exibir informações ou resultados, como textos e imagens. Pode ser utilizados em diversos tipos de aplicações, principalmente devido ao seu pequeno tamanho e ao baixo consumo de energia elétrica. A Figura 4.9 mostra o display LCD utilizado nesse projeto.



Figura 4.9 – Display LCD 16x2.

4.6.1 - Pinagem de Ligação do LCD

O visor LCD utilizado nesse projeto apresenta 16 pinos. São 16 colunas e 2 linhas para exibição das informações. Seu esquema de ligação ao microcontrolador foi retirado no manual original do fabricante e pode ser visto na Figura 4.10 e no Anexo D.

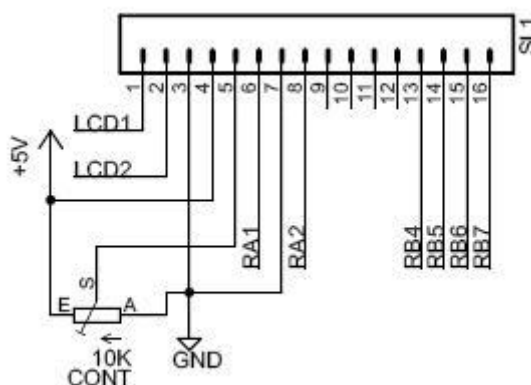


Figura 4.10 – Ligação do Display LCD.
Fonte: MANUAL ACEPIC 18_28.

Os pinos 1 e 2 são responsáveis pelo Backlight, que é a forma de iluminação usada num monitor LCD. Os pinos 3 e 4 são responsáveis pela alimentação: GND (3) e VDD (4). O pino 5 é o responsável pelo controle de contraste do display. Os pinos 6, 7 e 8 são pinos de controle. Por fim, os pinos 9 ao 16 são pinos de dados, ou seja, são os pinos usados para enviar as palavras de configuração e os dados (caracteres).

4.7 - Software

Como foi dito anteriormente, um microcontrolador é um “pequeno” componente eletrônico, dotado de uma “inteligência” programável, utilizado no controle de processos lógicos. O microcontrolador é programável, pois toda a lógica de operação é estruturada na forma de um programa e gravada dentro do componente. Depois disso, toda vez que o microcontrolador for alimentado, o programa interno é executado. Dessa maneira, para a realização desse trabalho, toda a lógica de operação para a execução do microcontrolador teve que ser escrita em uma linguagem de programação e gravada no microcontrolador.

4.7.1 - Programação

A criação de programas para microcontroladores pode ser uma tarefa desgastante à medida que aumenta a complexidade da aplicação que está sendo desenvolvida. (PEREIRA, 2003)

Os primeiros dispositivos programáveis tinham seus programas escritos com códigos chamados códigos de máquina, que consistiam normalmente em dígitos binários que eram inseridos por meio de um dispositivo de entrada de dados (teclado, leitora de cartões, fitas perfuradas ou discos magnéticos) para então serem executados pela máquina. Naturalmente, a programação com código de máquina era extremamente complexa, o que implicava em um elevado custo, além de muito tempo para o desenvolvimento de uma aplicação. (PEREIRA, 2003)

Diante da necessidade crescente de programação de sistemas, foi natural o surgimento de uma nova forma de programação de sistemas. Esta foi a origem da linguagem Assembly.

Assembly consiste em uma forma alternativa de representação dos códigos de máquina usando mneumônicos, ou seja, abreviações de termos usuais que descrevem a operação efetuada pelo comando em código de máquina. A conversão dos mneumônicos em códigos binários executáveis pela máquina é feita por um tipo de programa chamado Assembler.

A linguagem Assembly é de baixo nível, ou seja, não possui nenhum comando, instrução ou função além daqueles definidos no conjunto de instruções do processador utilizado. Isto implica em um trabalho extra do programador para desenvolver rotinas e operação que não fazem parte do conjunto de instruções do processador, produzindo, por conseguinte, programas muito extensos e complexos com um fluxo muitas vezes difícil de ser seguido. (PEREIRA, 2003)

É aí que entram as chamadas linguagens de alto nível. Elas são criadas para permitir a programação utilizando comandos de alto nível e que são posteriormente traduzidos para a linguagem de baixo nível do microcontrolador utilizado. A linguagem escolhida para essa função foi a linguagem C. (PEREIRA, 2003)

4.7.2 - Linguagem C

A maioria dos microcontroladores disponíveis no mercado contam com compiladores de linguagem C para o desenvolvimento do software. Da mesma forma, o PIC16F876A, que é o microcontrolador utilizado nesse trabalho, também aceita a linguagem C para a sua programação.

O uso de C permite a construção de programas e aplicações muito mais complexas do que seria viável utilizando apenas o Assembly. Além disso, o desenvolvimento em C permite uma grande velocidade na criação de novos projetos, devido às facilidades de programação oferecidas pela linguagem e também à sua portabilidade, o que permite adaptar programas de um sistema para outro com um mínimo esforço.

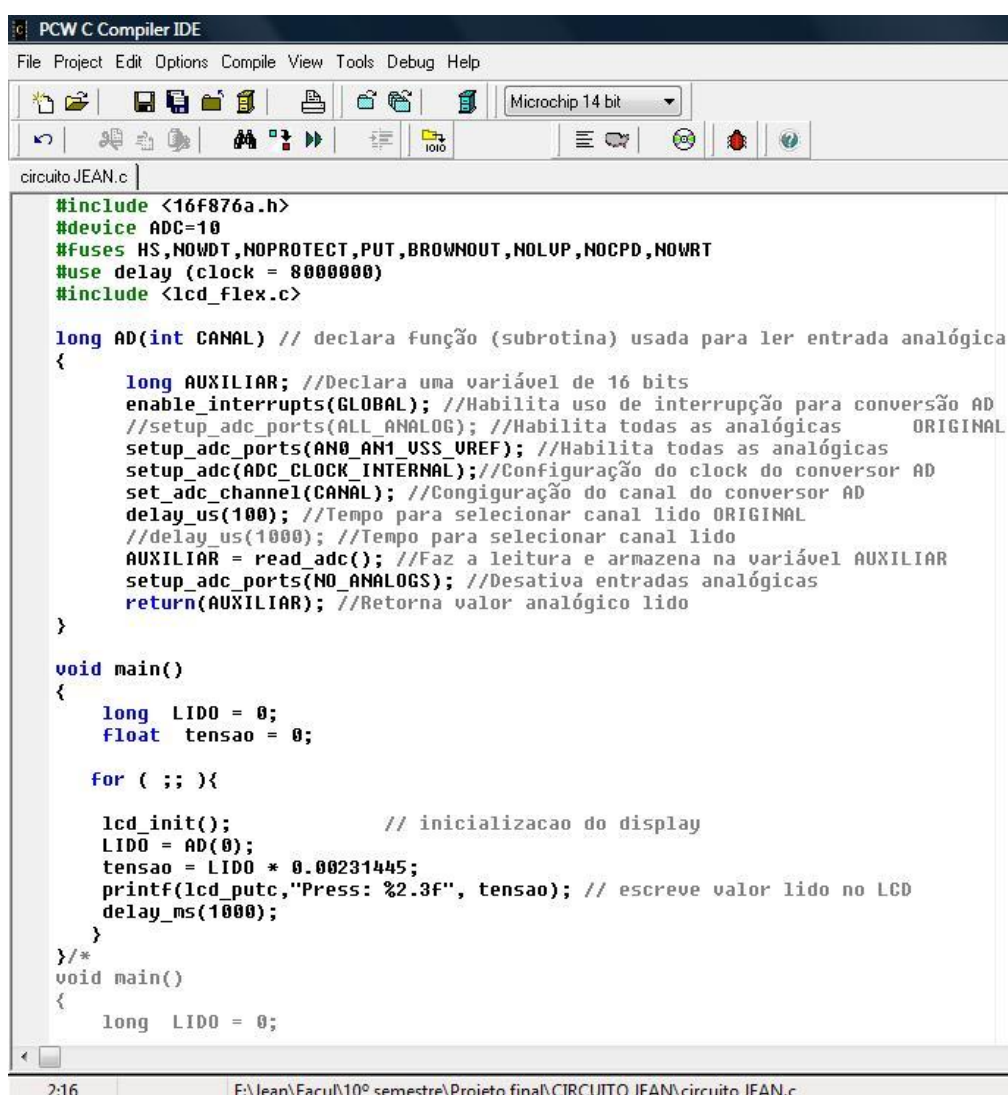
Como dito anteriormente, o projeto Medidor Para Tanque ou Recipientes Via Pressão utiliza um microcontrolador. Para a execução desse microcontrolador, foi criado um projeto de software, onde o código correspondente pode ser encontrado no apêndice A.

4.7.3 - PIC C Compiler

O programa que gera os resultados que serão impressos no display LCD, e que foi escrito em linguagem C, foi feito utilizando um aplicativo chamado PIC C Compiler.

O PIC C Compiler, também conhecido como CCS ou PCW C Compiler, é um aplicativo desenvolvido pela CCS (Custom Computer Service – sigla utilizada pela empresa fabricante do compilador). Essa ferramenta possui uma interface bastante amigável, além de já conter algumas bibliotecas, ou mesmo aceitar novas bibliotecas, como a biblioteca do LCD, que foi inclusa para a realização do trabalho.

A Figura 4.11 mostra a tela principal do PIC C Compiler.



```

PCW C Compiler IDE
File Project Edit Options Compile View Tools Debug Help
Microchip 14 bit
circuito JEAN.c
#include <16f876a.h>
#define ADC=10
#define fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,PUT,BROWNOUT,NOLVP,NOCPS,NOWRT
#define use delay (clock = 8000000)
#include <lcd_flex.c>

long AD(int CANAL) // declara função (subrotina) usada para ler entrada analógica
{
    long AUXILIAR; //Declara uma variável de 16 bits
    enable_interrupts(GLOBAL); //Habilita uso de interrupção para conversão AD
    //setup_adc_ports(ALL_ANALOG); //Habilita todas as analógicas ORIGINAL
    setup_adc_ports(AN0_AN1_USS_UREF); //Habilita todas as analógicas
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Configuração do clock do conversor AD
    set_adc_channel(CANAL); //Configuração do canal do conversor AD
    delay_us(100); //Tempo para selecionar canal lido ORIGINAL
    //delay_us(1000); //Tempo para selecionar canal lido
    AUXILIAR = read_adc(); //Faz a leitura e armazena na variável AUXILIAR
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS); //Desativa entradas analógicas
    return(AUXILIAR); //Retorna valor analógico lido
}

void main()
{
    long LIDO = 0;
    float tensao = 0;

    for ( ;; ){

        lcd_init(); // inicializacao do display
        LIDO = AD(0);
        tensao = LIDO * 0.00231445;
        printf(lcd_putc,"Press: %2.3F", tensao); // escreve valor lido no LCD
        delay_ms(1000);
    }
}

void main()
{
    long LIDO = 0;
  
```

Figura 4.11 – Tela principal do PIC C Compiler.

Fonte: AUTOR.

CAPÍTULO 5 - MODELO PROPOSTO

5.1 - Desenvolvimento do Projeto

Para o melhor desenvolvimento do projeto, seu desenvolvimento foi dividido em etapas. A monografia escrita também foi desenvolvida separadamente do protótipo. No fim, ambos formam o trabalho referente ao entendimento geral do projeto. A Figura 5.1 mostra as etapas do desenvolvimento.

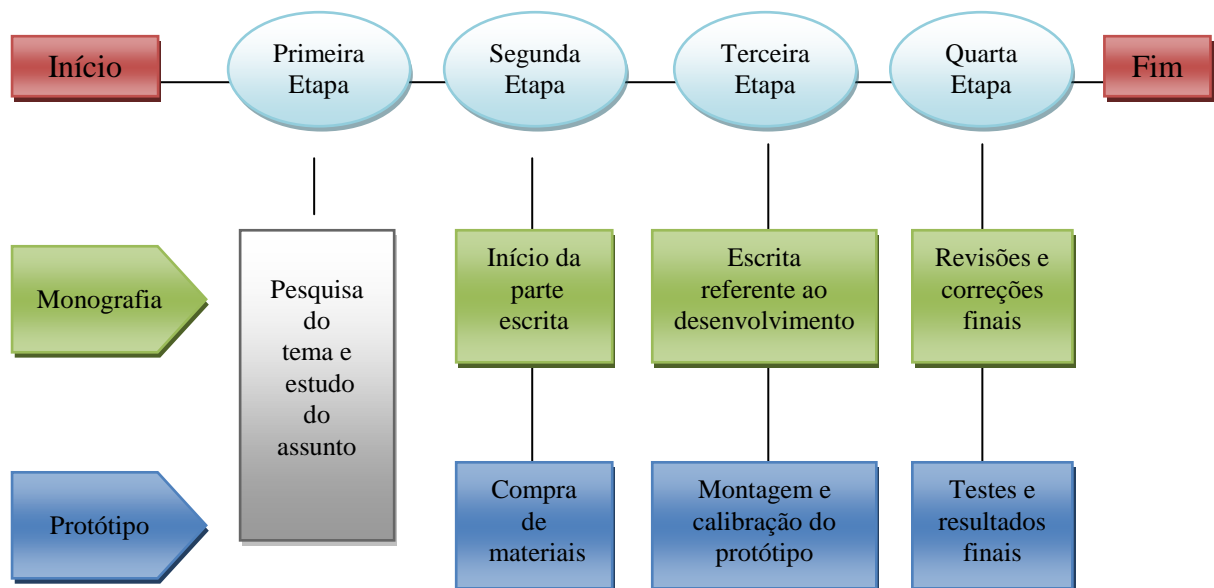


Figura 5.1 – Etapas do Projeto.

5.2 - Estrutura Geral do Projeto

Este projeto apresenta um protótipo que simula um tanque ou um recipiente qualquer, o qual é pressurizado por um compressor de ar, e que, por meio de um display de LCD, mostra ao usuário quanto de água resta dentro do recipiente.

Esse protótipo é composto pelos seguintes componente:

- Compressor de Ar;
- Recipiente de água. (medidas: 25cm x 25cm x 35cm);
- Kit de Desenvolvimento;
- Microcontrolador PIC16F876A;
- Sensor de pressão MPX4250AP.

A Figura 5.2 mostra o desenho esquemático de como o protótipo está composto.

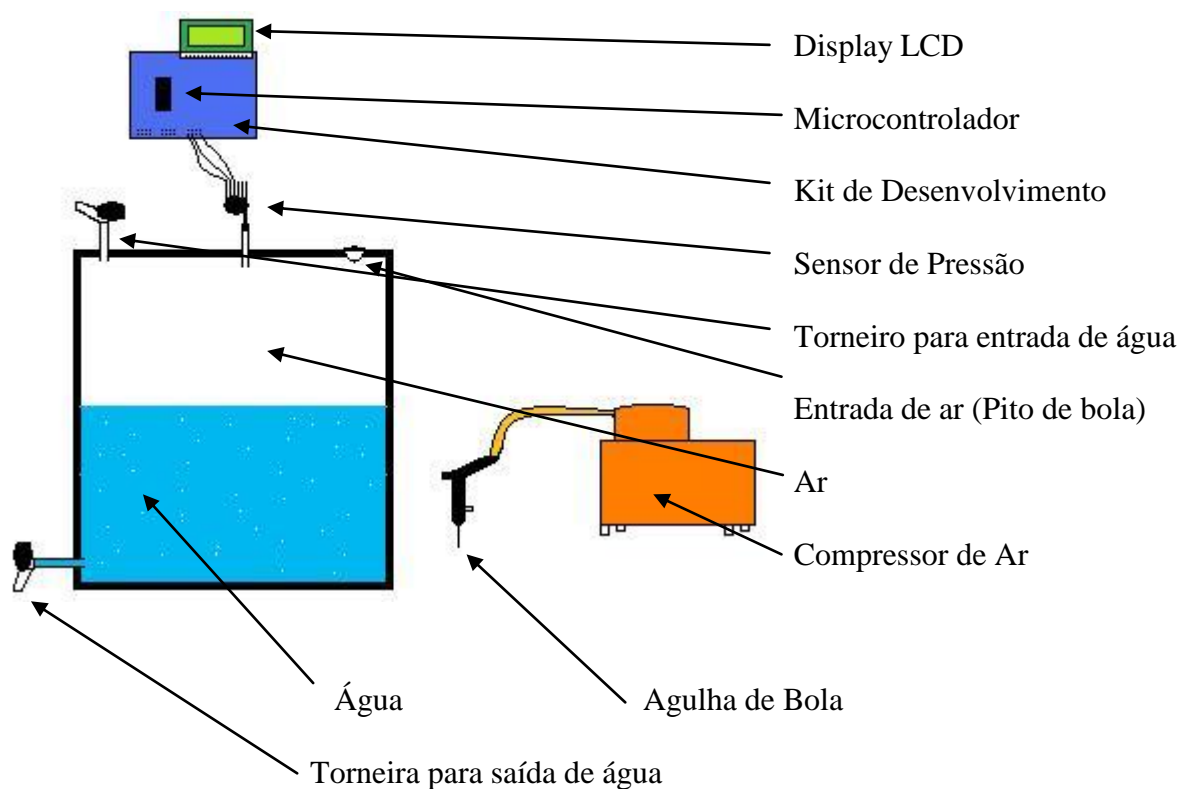


Figura 5.2 – Componentes do Projeto

5.3 - Princípio de Funcionamento do Projeto

Esse projeto utiliza a lei dos gases ideais como base fundamental para seu funcionamento. A lei dos gases ideais relaciona o volume com a quantidade, temperatura e pressão, como mostrado pela equação (5) da Seção 3.6.

Considerando a temperatura e a quantidade de mols constantes, a equação (2) da Seção 3.6 é verdadeira. Dessa maneira, sabendo a quantidade de ar que é colocado no recipiente e aferindo-se a pressão do seu interior, é possível saber qual o volume ocupado pelo ar.

Assim, como o tanque do protótipo tem 25 cm de largura, 25 cm de comprimento e 35 cm de altura, ou seja, 21,875 litros, basta jogar uma quantidade conhecida de ar em seu interior, a temperatura constante, aferir a pressão, então é possível saber qual o volume preenchido pelo ar dentro do tanque. No final, sabendo o volume total do tanque, é possível saber qual o volume preenchido pelo líquido que está em seu interior, pois a quantidade de líquido em seu interior é o volume total do recipiente menos o volume ocupado pelo ar.

Porém, tudo isso seria possível se todas as variáveis fossem controladas apuradamente. Para isso, aparelhos caros e complexos seriam necessários. Entretanto, este projeto utiliza outra estratégia para saber qual a quantidade de água contida em seu interior: primeiro foram feitas diversas medidas relacionando a pressão com a quantidade de água contida no tanque. Com os valores em mãos, é possível calibrar o protótipo para que ele possa mostrar, pelo valor da pressão, quanto de água resta dentro do recipiente.

5.4 - Etapas para o Funcionamento do Projeto

O funcionamento básico deste projeto pode ser explicado em passos. Esses passos devem ser executados e constituem as etapas para o funcionamento do protótipo. Os testes e calibrações são feitos seguindo os seguintes passos:

Passo 1: Coloca-se uma quantidade conhecida de água no recipiente.

OBS: Devido as características físicas do protótipo, foi decidido não colocar menos do que 3 litros nem mais do que 13 litros de água.

A figura 5.3 corresponde ao passo número 1.



Figura 5.3 – Passo número 1. Colocação de água no recipiente.

Passo 2: Veda-se o recipiente.



Figura 5.4 – Passo número 2. O recipiente é vedado.

Passo 3: Pressuriza-se o recipiente por um tempo pré-determinado. Para esse trabalho o tempo escolhido foi de 7 segundos. Também é usado um temporizador para se obter resultados mais exatos.



Figura 5.5 – Passo número 3. Tempo definido em 7 segundos.



Figura 5.6 – Passo número 3. Pressurizando o recipiente.

Passo 4: Depois de pressurizar o recipiente, ativa-se o microcontrolador. É preciso esperar 20 segundos para que ele faça as medições e apresente na tela o resultado.

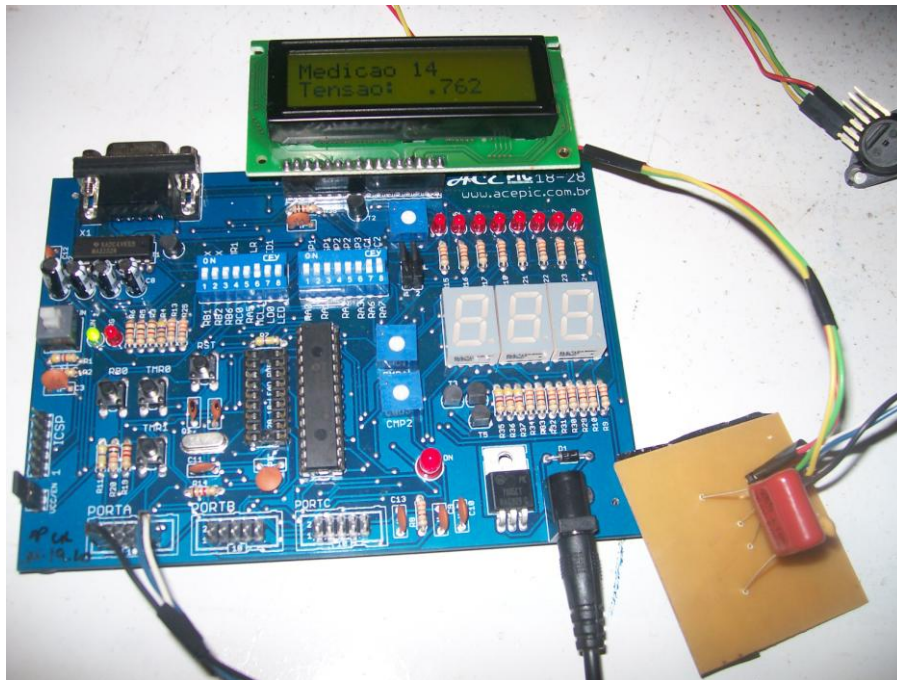


Figura 5.7 – Passo número 4. Medições sendo feitas.

Passo 5: Verifica-se se o resultado bate com o esperado.

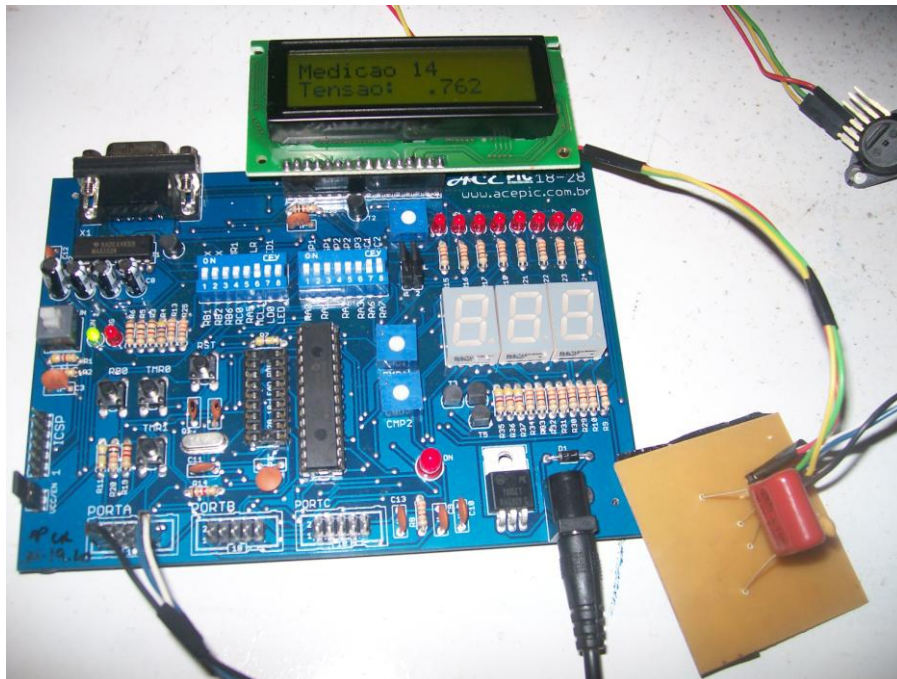


Figura 5.8 – Passo número 5. O resultado é apresentado na tela.

Passo 6: Tendo o resultado em mãos, despressuriza-se o recipiente. Agora é possível confrontar o resultado obtido para efeito de comparação.



Figura 5.9 – Passo número 7. Torneira para saída de água.

Passo 7: Desejando fazer outra medição, basta repetir os passos anteriores. Caso seja necessário diminuir a quantidade de água em seu interior, o recipiente também apresenta um saída para a água.



Figura 5.9 – Passo número 7. Torneira para saída de água.

5.5 – Descrição da Implementação

O funcionamento do projeto pode ser definido em um fluxograma. A figura 5.10 mostra um fluxograma que mostra a lógica de operação para realização de uma medida.

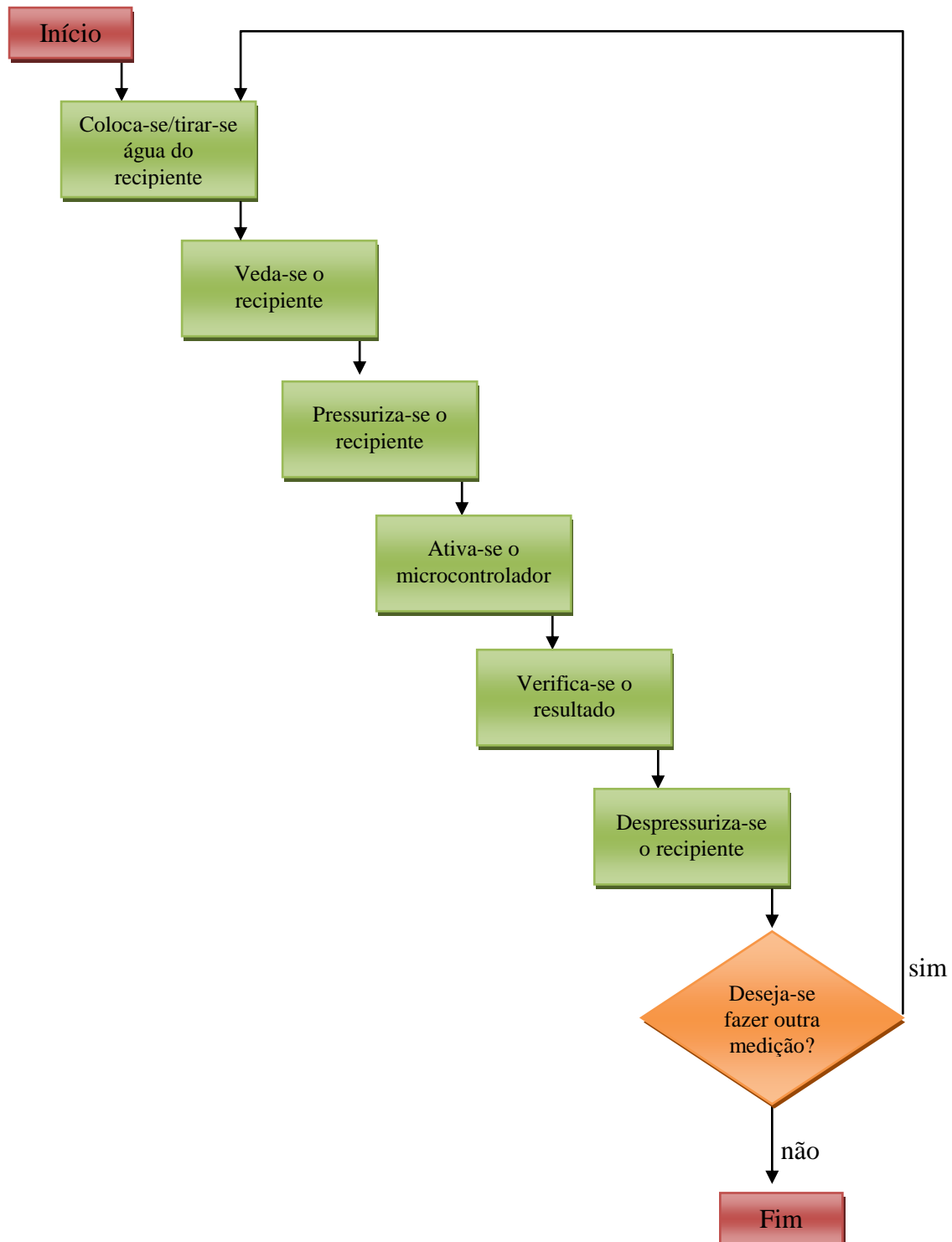


Figura 5.10 – Fluxograma do projeto.

CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

6.1 - Apresentação da Área de Aplicação do Modelo

O trabalho proposto, um medidor para tanques ou recipientes via pressão, tem como principal foco o ambiente industrial. Sua área de atuação fica evidente principalmente para aqueles que estão familiarizados com os processos industriais. Em um mercado que está sempre em expansão, novas tecnologias são sempre bem vindas e aceitas, principalmente devido a competitividade acirrada entre aqueles que dominam o seguimento.

6.2 - Calibração do Modelo

A calibração do protótipo se fez necessário no primeiro momento. Os testes foram feitos seguindo os passos anteriormente citados. Começando com 3 litros, o tanque foi sendo enchido a cada 0,5 litros. A cada novo valor de volume, seis medidas eram feitas. Os valores apresentados na tela de LCD, correspondentes às tensões de saída do sensor de pressão, eram anotados. Essas tensões correspondem a pressão interna do recipiente logo após a pressurização. Os valores anotados são apresentados na Quadro 1.

Quadro 1 – Quadro com os valores medidos de tensão correspondente a cada volume de água.

	Medida	Litros(L)	Tensão(V)
	1 (1)	3	2,003
	1 (2)	3	2,010
	1 (3)	3	1,998
	1 (4)	3	2,003
	1 (5)	3	2,008
	1 (6)	3	2,009
Média			2,004
	2(1)	3,5	2,015
	2(2)	3,5	2,063
	2(3)	3,5	2,027
	2(4)	3,5	2,039

	2(5)	3,5	2,020
	2(6)	3,5	2,062
Média			2,038
	3(1)	4	2,053
	3(2)	4	2,066
	3(3)	4	2,072
	3(4)	4	2,071
	3(5)	4	2,070
	3(6)	4	2,029
Média			2,060
	4(1)	4,5	2,038
	4(2)	4,5	2,068
	4(3)	4,5	2,070
	4(4)	4,5	2,096
	4(5)	4,5	2,053
	4(6)	4,5	2,074
Média			2,067
	5(1)	5	2,052
	5(2)	5	2,054
	5(3)	5	2,069
	5(4)	5	2,070
	5(5)	5	2,102
	5(6)	5	2,075
Média			2,070
	6(1)	5,5	2,110
	6(2)	5,5	2,144
	6(3)	5,5	2,100
	6(4)	5,5	2,078
	6(5)	5,5	2,077
	6(6)	5,5	2,100
Média			2,102
	7(1)	6	2,134
	7(2)	6	2,145
	7(3)	6	2,113
	7(4)	6	2,135
	7(5)	6	2,100
	7(6)	6	2,116
Média			2,124
	8(1)	6,5	2,135
	8(2)	6,5	2,140
	8(3)	6,5	2,163
	8(4)	6,5	2,126
	8(5)	6,5	2,167
	8(6)	6,5	2,141
Média			2,145
	9(1)	7	2,191
	9(2)	7	2,145

	9(3)	7	2,192
	9(4)	7	2,124
	9(5)	7	2,144
	9(6)	7	2,134
Média			2,155
	10(1)	7,5	2,160
	10(2)	7,5	2,158
	10(3)	7,5	2,153
	10(4)	7,5	2,150
	10(5)	7,5	2,164
	10(6)	7,5	2,166
Média			2,159
	11(1)	8	2,214
	11(2)	8	2,189
	11(3)	8	2,194
	11(4)	8	2,192
	11(5)	8	2,139
	11(6)	8	2,216
Média			2,191
	12(1)	8,5	2,191
	12(2)	8,5	2,191
	12(3)	8,5	2,221
	12(4)	8,5	2,250
	12(5)	8,5	2,157
	12(6)	8,5	2,220
Média			2,205
	13(1)	9	2,257
	13(2)	9	2,208
	13(3)	9	2,243
	13(4)	9	2,209
	13(5)	9	2,282
	13(6)	9	2,283
Média			2,247
	14(1)	9,5	2,289
	14(2)	9,5	2,247
	14(3)	9,5	2,225
	14(4)	9,5	2,285
	14(5)	9,5	2,269
	14(6)	9,5	2,287
Média			2,267
	15(1)	10	2,281
	15(2)	10	2,275
	15(3)	10	2,245
	15(4)	10	2,285
	15(5)	10	2,276
	15(6)	10	2,315
Média			2,280

	16(1)	10,5	2,282
	16(2)	10,5	2,360
	16(3)	10,5	2,311
	16(4)	10,5	2,267
	16(5)	10,5	2,329
	16(6)	10,5	2,299
Média			2,308
	17(1)	11	2,339
	17(2)	11	2,310
	17(3)	11	2,296
	17(4)	11	2,347
	17(5)	11	2,375
	17(6)	11	2,315
Média			2,330
	18(1)	11,5	2,328
	18(2)	11,5	2,405
	18(3)	11,5	2,376
	18(4)	11,5	2,331
	18(5)	11,5	2,317
	18(6)	11,5	2,375
Média			2,355
	19(1)	12	2,339
	19(2)	12	2,398
	19(3)	12	2,412
	19(4)	12	2,360
	19(5)	12	2,408
	19(6)	12	2,450
Média			2,395
	20(1)	12,5	2,392
	20(2)	12,5	2,499
	20(3)	12,5	2,453
	20(4)	12,5	2,430
	20(5)	12,5	2,390
	20(6)	12,5	2,438
Média			2,434
	21(1)	13	2,472
	21(2)	13	2,465
	21(3)	13	2,529
	21(4)	13	2,472
	21(5)	13	2,471
	21(6)	13	2,540
Média			2,492

Fonte: AUTOR

Com os valores de tensão correspondentes a cada volume em mãos, basta programar o microcontrolador para que, para cada valor de tensão, um valor em litros seja mostrado.

6.3 - Resultados da Aplicação do Modelo

Utilizando os valores colhidos, um gráfico da tensão média x volume pode ser montado. A figura 6.1 corresponde ao gráfico da Tensão x Volume.

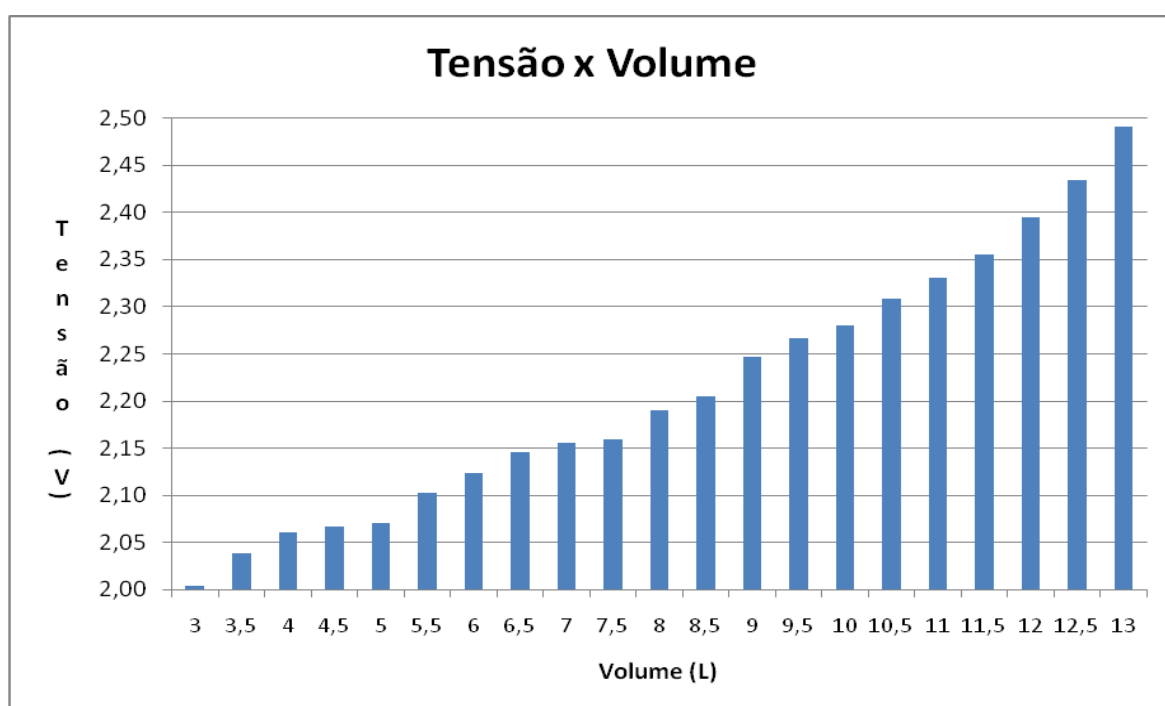


Figura 6.1 – Gráfico de Tensão média x Volume.

Analisando o gráfico, fica evidente que quanto maior o volume de água no interior do recipiente, maior a tensão correspondente. Isso ocorre porque, quanto maior o volume de água no recipiente, menor o espaço para o ar ocupar, ou seja, a pressão será maior. Essa é a relação que permite que um medidor para tanques ou recipientes via pressão seja criada.

Para comprovação de resultado, o Quadro 2 foi montado mostrando a maior tensão medida para cada valor de volume.

Quadro 2 – Quadro com os valores de maior tensão capturados correspondente a cada volume.

Litros (L)	Maior Tensão (V)
3	2,010
3,5	2,063
4	2,072
4,5	2,096
5	2,102
5,5	2,144
6	2,145
6,5	2,167
7	2,192
7,5	2,166
8	2,216
8,5	2,250
9	2,283
9,5	2,289
10	2,315
10,5	2,360
11	2,375
11,5	2,405
12	2,450
12,5	2,499
13	2,540

Fonte: AUTOR

Da mesma maneira, um gráfico da tensão x volume pode ser montado. A figura 6.2 corresponde ao gráfico da maior tensão medida x volume.

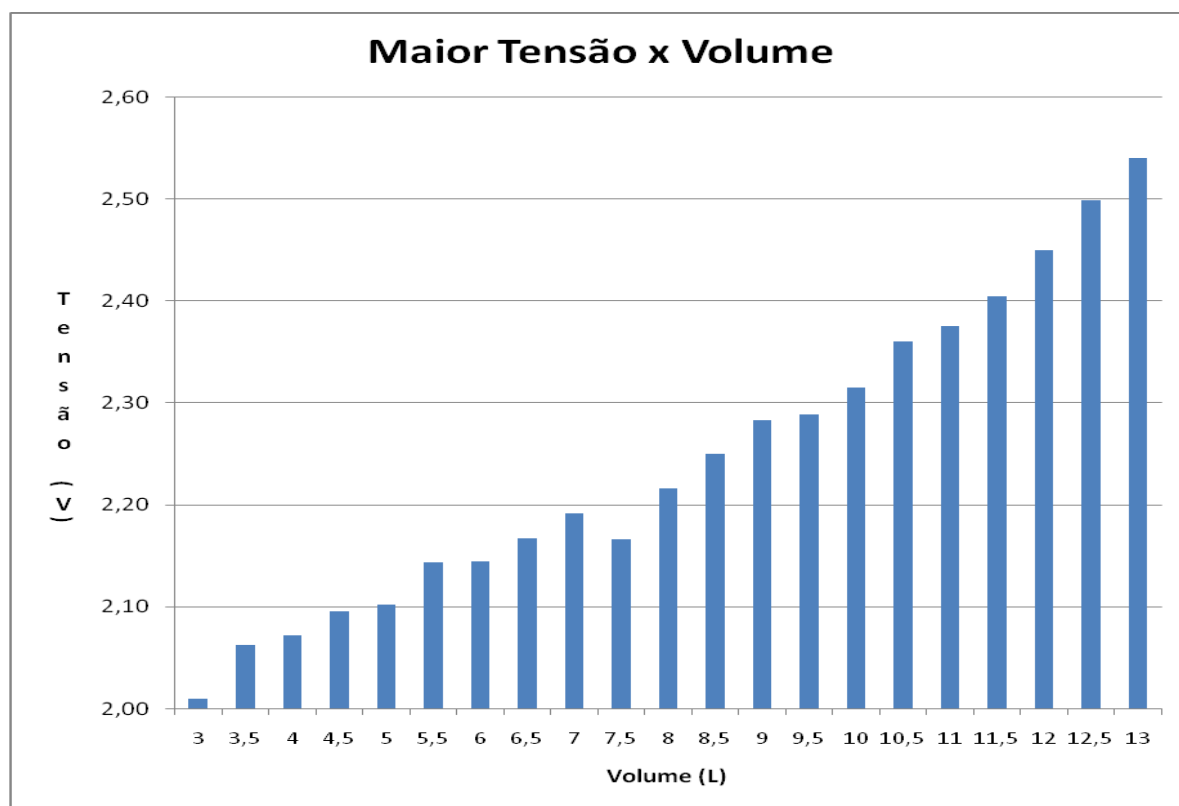


Figura 6.2 – Gráfico da Maior Tensão x Volume.

Dessa maneira, os resultados apresentados não deixam dúvidas que o modelo proposto realmente funciona. Teoricamente, os valores medidos deveriam apresentar uma relação onde o volume é inversamente proporcional à pressão, como mostra a Equação 3 da seção 3.6, mas isso não ocorre devido a imprecisão em alguma parte do processo. Como causas para essas imprecisão, pode-se citar: o compressor de ar, a válvula de entrada de ar, algum micro vazamento no recipiente, variações na temperatura, imprecisão do sensor ou mesmo erro do microcontrolador.

Os valores incoerentes também podem ser explicados pelo fato da inserção de ar (pressurização) do recipiente ser feita de forma manual. Como o sensor de pressão é muito sensível, qualquer desigualdade na ação de pressurização pode provocar variações sensíveis.

6.5 - Avaliação Global do Modelo

O modelo proposto atende aos objetivos iniciais do projeto. O medidor foi desenvolvido e ele se enquadra como novo medidor para tanques ou recipiente via pressão. De forma igual, toda a parte física e lógica foi implementada, de maneira que o protótipo mostra ao usuário via display LCD, quanto de água resta dentro do recipiente.

Para as indústrias, setor que está sempre em busca de novas soluções para os mais diversos tipos de problemas, novas opções são sempre bem vindas.

Uma avaliação mais detalhada aponta, também, que o método pode ser imensamente melhorado. O controle total de todas as variáveis pode produzir resultados muito mais precisos, culminando em um método extremamente eficaz.

Como todo trabalho, pontos fortes e pontos fracos podem ser citados. Como ponto forte, destaca-se o fato de que o método desenvolvido não exige que o recipiente esteja pressurizado em tempo integral. Também, testes foram feitos e apontaram que mesmo com o recipiente apresentado variações de movimento, a pressão medida não apresenta alteração de valor. Esse fato pode ser muito útil para casos especiais, onde o líquido não fica estabilizado no interior do recipiente. Como ponto fraco, pode ser citado o fato de que é preciso haver o melhor controle de todas as variáveis envolvidas, o que pode acabar resultando na necessidade de se obter aparatos mais sofisticados, os quais normalmente são mais onerosos.

Enfim, os ganhos advindos do trabalho realizado, no geral atingiram as expectativas.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO

7.1 - Conclusões

Esse trabalho apresenta um novo método de medição de nível para tanques ou recipientes. Esse método utiliza a pressão como forma de descobrir qual o volume de um líquido contido em um recipiente. Para isso, foi construído um protótipo que apresenta todo o aparato necessário para a medição, inclusive para mostrar ao usuário o resultado.

O objetivo geral do trabalho é desenvolver um método de medição de nível alternativo para o mercado, mas que seja eficaz para aplicação. Testes de medição foram realizados exaustivamente. Os resultados foram anotados e analisados. A conclusão chegada é que o método funciona, e apesar da relativa imprecisão em seus resultados, o modelo pode ser melhorado e se tornar um método alternativo de medição, principalmente para o setor industrial.

As tarefas propostas para a realização deste trabalho foram executadas com sucesso. Foi desenvolvido um método que, por meio da medição da pressão absoluta, consegue saber quanto de água ainda resta dentro de um recipiente. Um protótipo foi criado, o qual foi utilizado para testes e obtenção de resultados que provam que o método desenvolvido de fato funciona. Toda a parte física e lógica foi desenvolvida, toda a comunicação entre os componentes envolvidos também foi implementada e, por fim, os resultados são mostrados de forma simples ao usuário. Por último, o método desenvolvido é viável para implementação.

Finalizando, os resultados obtidos com o protótipo foram satisfatórios para os objetivos iniciais. O modelo proposto demonstra que o método que utiliza a pressão poderá ser implementado no futuro. Há de ser analisado delicadamente ainda, a questão dos custos envolvidos, pois apenas com testes mais avançados pode-se saber o investimento que de fato se faz necessário. Por fim, cabe aos interessados tomar frente e buscar aperfeiçoar o método até o ponto de se virar um produto comercial ao ponto de ser vendido e utilizado.

7.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros

Com os estudos, pesquisas e resultados desse projeto, novas ideias surgiram para projetos futuros. O modelo desenvolvido apresentou algumas características que podem tornar seu uso interessante em outras áreas. Muitos projetos podem se inspirar nesse projeto para dar maior completude ao trabalho ou mesmo para utilizar essa ideia em outros seguimentos.

As sugestões para trabalhos futuros está listada a seguir:

- Como descrito na motivação desse trabalho, levar a ideia da solução proposta para o ambiente automobilístico, o que pode resultar em um possível novo método de medição de nível para tanques de combustível de automóveis.
- Modificar a forma de funcionamento do método proposto. É possível relacionar o tempo de compressor ligado com o volume de líquido contido no recipiente. Mas, para isso, o compressor escolhido não pode ser de diafragma, o que pode resultar em um método mais caro. Essa seria uma forma modificada de se medir o nível no recipiente.
- Com um mercado tão amplo como é o setor industrial, acredito que novas soluções ainda podem ser criadas para a medição de nível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGA, Egidio Alberto - Instrumentação Industrial. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

CASSIOLATO, César. Medição de Pressão: Tudo o quê você precisa conhecer.

Disponível em:

http://www.profibus.org.br/files/artigos/Artigo_Pressao_Cesar_Cassiolato_CI_2008.pdf

Acesso em: 01/10/2010

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa. 6 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1988.

FIALHO, Arivelto Bustamente. Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises. 2 ed. São Paulo: Érica, 2002.

MASTERTON, Willian L. Slowinsk, Emil J. Stanitski, Conrad L. Princípios de Química. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

MEASUREMENT. A History of Measurement and Metrics - 2010

Disponível em:

<<http://www.cftech.com/BrainBank/OTHERREFERENCE/WEIGHTSandMEASURES/MetricHistory.html>>

Acesso em: 10/08/2010

OIMLR71. Organisation Internationale de Métrologie Légale - Fixed Storage Tanks. General Requirements - 1985.

OMEGA. The Strain Gage

Disponível em:

<<http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/strain.html>>

Acesso em: 06/07/2010

PEREIRA, Fábio. Microcontroladores PIC: Programando em C. 7 ed. São Paulo: Érica, 2003.

RIBEIRO, Marco Antônio. Medição de Nível

Disponível em:

<http://www.marcoantonioribeiro.com.br/artigos.php?pageNum_artigos=2&totalRows_artigos=27>

Acesso em: 05/07/2010

ROCHA, Rodrigo Moreira de Souza. Implementação de um Tensiômetro Digital Utilizando Microcontrolador Dedicado – 2003.

Disponível em:

http://www.bcc.ufla.br/monografias/2003/Implementacao_de_um_tensiometro_digital_utilizando_microcontrolador_dedicado.pdf

Acesso em: 22/07/2010

SOUZA, David José. Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16f628A. 6 ed. São Paulo: Érica, 2003.

THOMAZINI, Daniel. Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações. 1 ed. São Paulo: Érica, 2005.

VIEIRA, Sergio. Medidores de nível: Mercado e Tecnologia - Mecatrônica Atual - Originalmente publicado na revista Mecatrônica Atual - Nº18 - Nov/04

Disponível em:

<<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/444>>

Acesso em: 20/08/2010

Complementar:

Sighieri, L Nishinari. Controle Automático de Processos Industriais - 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.

Balvinot, Alexandre. Brusamarello, Valner Joao. Instrumentação e Fundamentos de Medidas Volume 1. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

Lira, Francisco Adval de. Metrologia na Indústria. 1 ed. São Paulo: Érica, 2001

Braga, Newton C. Sensores de Pressão: como usar? - Mecatrônica Atual - Originalmente publicado na revista Mecatrônica Fácil - Ano 6 - Edição 36 - Set/Out/07

Disponível em:

<<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/49>>

Acesso em: 22/08/201

Silva, Renato A. Programando Microcontroladores PIC: Programação em Linguagem C. 1ed. Editora: Ensino Profissional, 2007

Silva, Hugo. Engenharia de Produtos-Pressão Mecânica WIKA do Brasil - Medição de nível em tanques pela pressão diferencial.

Disponível em:

<<http://www.profibus.org.br/artigos/Medicao+de+nivel+em+tanques+pela+pressao+diferencial.html>>

Acesso em: 15/07/2010

APÊNDICE

APÊNDICE A – Código em C do programa principal.

```
#include <16f876a.h>
#define ADC=10
#define HS,NOWDT,NOPROTECT,PUT,BROWNOUT,NOLVP,NOCPPD,NOWRT
#define use delay (clock = 8000000)
#include <lcd_flex.c>

long AD(int CANAL) // declara função (subrotina) usada para ler entrada analógica
{
    long AUXILIAR; //Declara uma variável de 16 bits
    enable_interrupts(GLOBAL); //Habilita uso de interrupção para conversão AD
    //setup_adc_ports(ALL_ANALOG); //Habilita todas as analógicas ORIGINAL
    // setup_adc_ports(AN0_AN1_VSS_VREF); //Habilita todas as analógicas
    setup_adc_ports(AN0);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Configuração do clock do conversor AD
    set_adc_channel(CANAL); //Congiguração do canal do conversor AD
    delay_us(100); //Tempo para selecionar canal lido ORIGINAL
    //delay_us(1000); //Tempo para selecionar canal lido
    AUXILIAR = read_adc(); //Faz a leitura e armazena na variável AUXILIAR
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS); //Desativa entradas analógicas
    return(AUXILIAR); //Retorna valor analógico lido
}

float media (float tensao){

int i;
float t, tensao = 0;
long LIDO = 0;

t=0; //Variável para armazenar todas as medições de tensao

for (i=0; i<=19; i++) {
    printf (lcd_putc, "\f");
    t = t+tensao; //Todos os valores de tensao somados
    LIDO = AD(0); //Refaz leitura
    tensao = LIDO * 0.004828125; //2.48/1024 = 0.002421875
    tensao = tensao; //Variavel que sera somada aos valores da tensao
    printf (lcd_putc, "Medicao %d\nTensao: %.2f", i+1, tensao); //Imprimir cada medição
    delay_ms(1000);
}

t = t/20; //Fazer a media

return t; //Retorna a media dos 20 valores
```

```

}
void main()
{
    long LIDO = 0;
    float tensao = 0, tensaomedia;

    lcd_init();          // inicializacao do display
    LIDO = AD(0);
    tensao = LIDO * 0.004828125; //2.48/1024 = 0.002421875    5/1024 = 0.004828125
    tensaomedia = media (tensao); //Faz a media de 20 medições
    printf (lcd_putc, "\f");
    //printf(lcd_putc, "Media: %2.3f", tensaomedia); // escreve valor lido no LCD
    if (tensaomedia >= 1.990 && tensaomedia <= 2.045) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 3", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.046 && tensaomedia <= 2.068) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 4", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.069 && tensaomedia <= 2.098) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 5", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.099 && tensaomedia <= 2.136) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 6", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.137 && tensaomedia <= 2.166) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 7", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.167 && tensaomedia <= 2.220) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 8", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.221 && tensaomedia <= 2.260) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 9", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.261 && tensaomedia <= 2.290) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 10", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.291 && tensaomedia <= 2.350) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 11", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.351 && tensaomedia <= 2.450) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 12", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }
    if (tensaomedia >= 2.451 && tensaomedia <= 2.540) {
        printf (lcd_putc, "Media: %2.3f\nLitros: 13", tensaomedia); //Imprimir cada medição
    }

    delay_ms(1000);
}

```

APÊNDICE B – Código em C da biblioteca LCD

```

// flex_lcd.c

#define LCD_DB4 PIN_A1
#define LCD_DB5 PIN_A2
#define LCD_DB6 PIN_A3
#define LCD_DB7 PIN_A5

#define LCD_E PIN_B0
#define LCD_RS PIN_B1
#define LCD_RW PIN_B2

#define LCD_DB4 PIN_B4
#define LCD_DB5 PIN_B5
#define LCD_DB6 PIN_B6
#define LCD_DB7 PIN_B7

#define LCD_E PIN_A2
#define LCD_RS PIN_A1
#define LCD_RW PIN_A3

#define USE_LCD_RW 1

//=====

#define lcd_type 2 // 0=5x7, 1=5x10, 2=2 lines
#define lcd_line_two 0x40

int8 const LCD_INIT_STRING[4] =
{
0x20 | (lcd_type << 2), // Func set: 4-bit, 2 lines, 5x8 dots
0xc,
1,
6
};

//-----
void lcd_send_nibble(int8 nibble)
{
output_bit(LCD_DB4, !(nibble & 1));
output_bit(LCD_DB5, !(nibble & 2));
output_bit(LCD_DB6, !(nibble & 4));
output_bit(LCD_DB7, !(nibble & 8));
}

```

```

delay_cycles(1);
output_high(LCD_E);
delay_us(2);
output_low(LCD_E);
}

```

```

#ifdef USE_LCD_RW
int8 lcd_read_nibble(void)
{
    int8 retval;
    #bit retval_0 = retval.0
    #bit retval_1 = retval.1
    #bit retval_2 = retval.2
    #bit retval_3 = retval.3

    retval = 0;

    output_high(LCD_E);
    delay_cycles(1);

    retval_0 = input(LCD_DB4);
    retval_1 = input(LCD_DB5);
    retval_2 = input(LCD_DB6);
    retval_3 = input(LCD_DB7);

    output_low(LCD_E);

    return(retval);
}
#endif

```

```

#ifdef USE_LCD_RW
int8 lcd_read_byte(void)
{
    int8 low;
    int8 high;

    output_high(LCD_RW);
    delay_cycles(1);

    high = lcd_read_nibble();

    low = lcd_read_nibble();

    return( (high<<4) | low);
}
#endif

```

```

//-----
// Send a byte to the LCD.
void lcd_send_byte(int8 address, int8 n)
{
    output_low(LCD_RS);

    #ifdef USE_LCD_RW
        while(bit_test(lcd_read_byte(),7)) ;
    #else
        delay_us(60);
    #endif

    if(address)
        output_high(LCD_RS);
    else
        output_low(LCD_RS);

    delay_cycles(1);

    #ifdef USE_LCD_RW
        output_low(LCD_RW);
        delay_cycles(1);
    #endif

    output_low(LCD_E);

    lcd_send_nibble(n >> 4);
    lcd_send_nibble(n & 0xf);
}

//-----
void lcd_init(void)
{
    int8 i;

    output_low(LCD_RS);

    #ifdef USE_LCD_RW
        output_low(LCD_RW);
    #endif

    output_low(LCD_E);

    delay_ms(15);

    for(i=0 ;i < 3; i++)
    {
        lcd_send_nibble(0x03);
    }
}

```

```

    delay_ms(5);
}

lcd_send_nibble(0x02);

for(i=0; i < sizeof(LCD_INIT_STRING); i++)
{
    lcd_send_byte(0, LCD_INIT_STRING[i]);

    #ifndef USE_LCD_RW
    delay_ms(5);
    #endif
}

}

//-----

void lcd_gotoxy(int8 x, int8 y)
{
    int8 address;

    if(y != 1)
        address = lcd_line_two;
    else
        address=0;

    address += x-1;
    lcd_send_byte(0, 0x80 | address);
}

//-----

void lcd_putc(char c)
{
    switch(c)
    {
        case '\f':
            lcd_send_byte(0,1);
            delay_ms(2);
            break;

        case '\n':
            lcd_gotoxy(1,2);
            break;

        case '\b':
            lcd_send_byte(0,0x10);
            break;
    }
}

```



```
        default:
            lcd_send_byte(1,c);
            break;
    }
}

//-----
#ifdef USE_LCD_RW
char lcd_getc(int8 x, int8 y)
{
    char value;

    lcd_gotoxy(x,y);

    // Wait until busy flag is low.
    while(bit_test(lcd_read_byte(),7));

    output_high(LCD_RS);
    value = lcd_read_byte();
    output_low(lcd_RS);

    return(value);
}
#endif
```

ANEXOS

ANEXO A – Data Sheet do MPX4250AP

..\CD Projeto Final\DatasheetMPX4250AP

ANEXO B – Datasheet do Pic16876a

..\CD Projeto Final\DatasheetPIC16F876A

ANEXO C – Manual do Motocompressor JETMIL-i

..\CD Projeto Final\Manualmotocompressor

ANEXO D – Manul ACEPIC 18_28

..\CD Projeto Final\Manualacepic18_28